examenbundel.nl

examen bundel

Meer dan alleen oefenexamens

Nu bij je boek
mijn.examenbundel.nl
Online oefenen, video's en meer

2021|2022

havo

Natuurkunde

ThiemeMeulenhoff

examenbundel.nl

examen bundel

Meer dan alleen oefenexamens

R. Slooten
L. van Rooyen
M.H. Overbosch

2021 | 2022

havo

Natuurkunde

ThiemeMeulenhoff

mijn.examenbundel.nl

Slagen zonder examenstress doe je met Examenbundel, Samengevat, Examenidioom en Zeker Slagen!
Alles voor je schoolexamens en je centrale examens in je boeken, maar ook online.

- Quickscan
- Antwoorden bij de oriëntatietoets
- Video's en andere leerbronnen
- Oefenexamens
- Overzicht van al je examenvakken
- En nog veel meer op Mijn Examenbundel!

Ga naar mijn.examenbundel.nl en log in op Mijn Examenbundel. Met deze code krijg je toegang tot heel veel (digitale) extra's die bij je bundel horen:

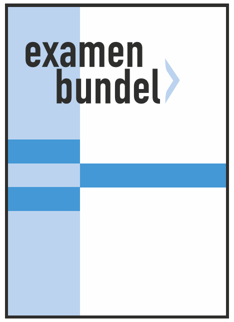
Deze code is uniek en door één persoon te gebruiken. Geldig tot 15 juli 2022.

#ikgazekerslagen

Voorwoord

Met deze **Examenbundel** bereid je je goed voor op het eindexamen en op de schoolexamens. Je oefent met echte examenopgaven. Als je niet weet hoe je een vraag aan moet pakken, raadpleeg dan de bijbehorende hint. In de uitwerkingen staan de antwoorden met een duidelijke uitleg. Zo weet je precies wat je goed en fout hebt gedaan.

Gebruik naast deze **Examenbundel** ook het boek **Samengevat** om te leren voor je examen. Hierin vind je een handige samenvatting van alle examenstof.



Oefenen met echte examens en duidelijke uitwerkingen

+

Overzichtelijke samenvatting van de examenstof

Wil je weten op welke datum het centraal examen is?
Ga naar examenbundel.nl/examenrooster voor het actuele examenrooster.
Of scan de QR-code:

Namens team **Examenbundel** heel veel succes!

Heb je een vraag of opmerking over deze **Examenbundel**?
Ga dan naar examenbundel.nl/contact.

Opmerking
De overheid stelt de regels op voor het examen. Bijvoorbeeld wat de examenonderwerpen zijn, welke hulpmiddelen je mag gebruiken en wanneer het examen is. De auteurs en uitgever hebben deze **Examenbundel** met grote zorg samengesteld. Soms veranderen de regels van de overheid echter of worden er nieuwe afspraken gemaakt over wat die regels betekenen. Raadpleeg daarom altijd je docent of onze website www.examenbundel.nl voor actuele informatie die voor jouw examen van belang is.

©ThiemeMeulenhoff

Inhoud

3 **Voorwoord**
7 **Stappenplan: hoe leer je met de Examenbundel?**
13 **Tips: hoe maak je examenopgaven bij natuurkunde?**

Oriëntatietoets

17 Opgaven

Deel 1
Oefenen op onderwerp

1 Vaardigheden (Domein A)
25 Opgaven
29 Hints - uitwerkingen

2 Informatie-overdracht (Domein B1)
32 Opgaven
39 Hints - uitwerkingen

3 Medische beeldvorming (Domein B2)
45 Opgaven
52 Hints - uitwerkingen

4 Kracht en beweging (Domein C1)
57 Opgaven
66 Hints - uitwerkingen

5 Energieomzettingen (Domein C2)
73 Opgaven
80 Hints - uitwerkingen

6 Eigenschappen van stoffen en materialen (Domein D1)
87 Opgaven
96 Hints - uitwerkingen

7 Zonnestelsel en heelal (Domein E1)
103 Opgaven
108 Hints - uitwerkingen

8 Gebruik van elektriciteit (Domein G1)
113 Opgaven
119 Hints - uitwerkingen

Deel 2a
Examens met uitwerkingen

Examen 2016-II
127 Opgaven
139 Hints - uitwerkingen

Examen 2017-I
147 Opgaven
160 Hints - uitwerkingen

Examen 2017-II
170 Opgaven
187 Hints - uitwerkingen

Examen 2018-I
196 Opgaven
209 Hints - uitwerkingen

Examen 2018-II
219 Opgaven
233 Hints - uitwerkingen

Examen 2019-I
242 Opgaven
255 Hints - uitwerkingen

Examen 2019-II
265 Opgaven
279 Hints - uitwerkingen

Deel 2b
Examen zonder uitwerkingen

Examen 2021-I
291 Opgaven

Bijlagen

Cijferbepaling
Onderwerpregister

©ThiemeMeulenhoff

Stappenplan: hoe leer je met de Examenbundel?

Natuurlijk kun je de **Examenbundel** van voor naar achter doorwerken of er kriskras wat onderdelen uithalen om mee te oefenen, maar je kunt het ook systematischer aanpakken. Als je oefenen met de **Examenbundel** combineert met leren uit **Samengevat**, bereid je je optimaal voor op je examen.

Op de volgende pagina's vind je drie routes die laten zien hoe je kunt leren met de **Examenbundel**. Kies de route die past bij jouw manier van leren:

- Route 1: Ga je graag meteen aan de slag? Start met **oefenen per onderwerp**.
- Route 2: Wil je eerst weten waar je staat? Start met **de oriëntatietoets**.
- Route 3: Leer je liever eerst de theorie? Start met **leren per onderwerp**.

Wil je weten wat je leerstijl is?

Kies de route die bij jouw manier van leren past!

Lees ook de tips! Voorkom verrassingen tijdens je examen.

#ikgazekerslagen

©ThiemeMeulenhoff

Route 1

Ga je graag meteen aan de slag? Start met oefenen per onderwerp.

januari & februari

Maak per week opgaven van een hoofdstuk in deel 1 van de Examenbundel.

Kijk de opgaven na met de bijbehorende uitwerkingen.

- Meer dan de helft goed.
- De helft of minder goed.
  - Neem het bijbehorende hoofdstuk in Samengevat door.
  - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.
  - Kijk die opgaven na.
    - Meer dan de helft goed.
    - De helft of minder goed.
      - Maak de opgaven van dat hoofdstuk uit deel 1 die je nog niet gemaakt had. Gebruik de hints.

maart

Maak de oriëntatietoets.

Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.

- Voldoende.
- Onvoldoende.

Bestudeer Samengevat over de onderwerpen die minder goed gingen.

Oefen opgaven uit deel 1 van de Examenbundel en via het onderwerpregister uit de verschillende examens over het betreffende onderwerp. Gebruik de hints!

©ThiemeMeulenhoff

april

Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.

Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.

- Tevreden met het resultaat.
- Niet tevreden met het resultaat.
  - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
  - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.

Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

©ThiemeMeulenhoff

Route 2

Wil je eerst weten waar je staat? Start met de oriëntatietoets.

januari

- Maak de oriëntatietoets in de Examenbundel.
- Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.
  - Voldoende.
  - Onvoldoende.
    - Kijk welke onderwerpen uit deel 1 van de Examenbundel nog niet goed gingen.

februari

- Bestudeer elk hoofdstuk in Samengevat.

maart

- Maak opgaven per onderwerp uit deel 1 van de Examenbundel.
- Kijk de opgaven na met de bijbehorende uitwerkingen.
  - Meer dan de helft goed.
  - De helft of minder goed.
    - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.
    - Kijk die opgaven na.
      - Meer dan de helft goed.
      - De helft of minder goed.
        - Maak de opgaven van dat hoofdstuk uit deel 1 die je nog niet gemaakt had. Gebruik de hints.

april

- Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.

april

- Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.
  - Tevreden met het resultaat.
  - Niet tevreden met het resultaat.
    - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
    - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.
- Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

Route 3

Leer je liever eerst de theorie? Start met leren per onderwerp.

#

januari & februari

Bestudeer per week een hoofdstuk uit Samengevat.

maart

Maak de oriëntatietoets van de Examenbundel.

Bereken je score met de uitwerkingen op mijn.examenbundel.nl.

- Voldoende.
- Onvoldoende.
  - Kijk welke onderwerpen uit deel 1 van de Examenbundel nog niet goed gingen.
  - Maak de opgaven uit deel 1 over die onderwerpen.
  - Kijk die opgaven na.
    - Meer dan de helft goed.
    - De helft of minder goed.
      - Oefen met het onderwerpregister achter in de Examenbundel meer opgaven over dit onderwerp uit de verschillende examens.

april

Maak een heel examen uit deel 2a van de Examenbundel.

Kijk het examen na met de bijbehorende uitwerkingen.

- Tevreden met het resultaat.
- Niet tevreden met het resultaat.
  - Kijk met behulp van het onderwerpregister welke onderdelen nog niet goed gaan en waar voor jouw gevoel wel winst is te behalen. Je hoeft niet alles goed te doen!
  - Bestudeer Samengevat en maak via het onderwerpregister van de Examenbundel een aantal opgaven over dat onderwerp uit deel 1 en 2a tot je tevreden bent met het resultaat.

Blijf oefenen met deel 2a zodat je met vertrouwen het examen in gaat.

#geenexamenstress

©ThiemeMeulenhoff

Tips: hoe maak je examenopgaven bij natuurkunde?

Bij het op de juiste manier oplossen van een probleem doorloop je in het algemeen drie stappen: de voorbereiding, de uitvoering en een controle.

Voorbereiding

- Kijk eerst vluchtig alle opgaven door en begin met de opgaven die je vertrouwd voorkomen.
- Ga na hoeveel tijd gemiddeld beschikbaar is per opgave. Probeer te voorkomen dat je te lang met een bepaalde vraag bezig blijft en daardoor weinig punten scoort bij andere vragen.
- Lees de tekst van de gekozen opgave rustig en nauwkeurig. Onderstreep of markeer hierbij aanwijzingen, begrippen, formules, getallen e.d. die van belang kunnen zijn. Deze informatie is dan bij het beantwoorden van de vragen snel terug te vinden.
- Lees elke vraag nauwkeurig en ga na welke informatie je nodig denkt te hebben om de vraag te kunnen beantwoorden. Zoek die informatie op in de tekst van de opgave, of in Binas of ScienceData.
- Bepaal welke tussenstappen je bij de beantwoording van de vraag zult moeten maken. Deze worden bepaald door het ‘gat’ dat er zit tussen de gegevens en het gevraagde. Je kunt daarbij zowel van de gegevens als van het gevraagde uitgaan.
- Begin pas aan de uitvoering, wanneer je de aanpak van het vraagstuk overziet.

Uitvoering

- Reserveer op je papier voor elke opgave voldoende ruimte. Je werk wordt daardoor overzichtelijker en je kunt je antwoord makkelijker aanvullen.
- Schrijf alle tussenstappen overzichtelijk op, zodat zichtbaar wordt hoe je tot je antwoord bent gekomen.
- Indien om uitleg wordt gevraagd, mag die niet ontbreken.
- Schrijf bij twijfel altijd iets op (behalve als je zelf al kunt beoordelen dat je antwoord nergens op slaat).

Controle

- Lees de vraag nog eens over. Is hij volledig beantwoord?
- Vind je het gevonden antwoord zinnig (klopt bv. de orde van grootte)? Zo niet, probeer je denk- of rekenfout op te sporen of maak daarover tenminste een opmerking.
- Is de juiste eenheid vermeld?
- Is de afronding van een verkregen waarde in overeenstemming met de vraagstelling? Let op het juiste aantal significante cijfers.

©ThiemeMeulenhoff

Hoe zou je het nu al doen op een examen? De oriëntatietoets geeft je een eerste indruk. De antwoorden vind je op mijn.examenbundel.nl.

Oriëntatietoets

Oriëntatietoets

BritNed

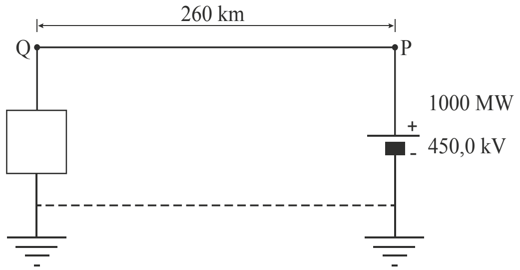
Sinds april 2011 ligt er op de zeebodem tussen Nederland en Engeland een 260 km lange, goed geïsoleerde, kabel. De kabel kan beide landen van stroom kan voorzien, afhankelijk van de prijs of de energiebehoefte.
Het project is gestart in 2007 en kreeg de naam BritNed.

Op een internetforum beweerde iemand over dit project: "Onderweg van Nederland naar Engeland zal een deel van de stroomsterkte verloren gaan."

1p **1** Ben je het met deze bewering eens of oneens? Licht je antwoord toe.

In figuur 1 staat een schematische tekening van de stroomkring die ontstaat als er 1000 MW vermogen van Nederland naar Engeland getransporteerd wordt.
In Nederland wordt een elektrische spanning opgewekt van 450,0 kV. De spanning tussen punt Q en aarde is 446,6 kV.

figuur 1



De 260 km lange koperen kabel wordt voorgesteld door een draad PQ.
Het blokje stelt de gebruikers in Engeland voor. De terugvoerkabel hoeft niet te worden aangelegd want de stroom gaat via de aarde terug naar Nederland.

De geleidbaarheid van de koperen kabel is 0,65 S.

3p **2** Toon dit aan met een berekening.

De kabel heeft een diameter van 6,0 cm.
De koperen kabel is erg zwaar: de massa is $6{,}6 \cdot 10^3$ ton.

3p **3** Toon dit aan met een berekening.

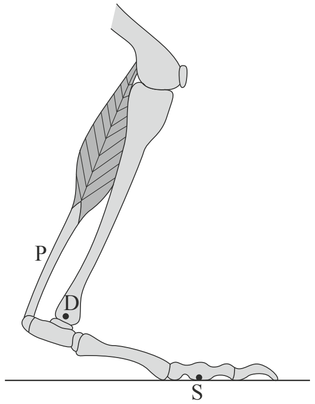
Het vermogensverlies in de kabel is 7,6 MW.

4p **4** Bereken de temperatuurstijging van de kabel in de eerste minuut na inschakelen. Ga ervan uit dat alle geproduceerde warmte door de kabel wordt opgenomen.

Kangoeroesprongen

Kangoeroes staan bekend om hun enorme sprongen en sprongkracht. Die sprongkracht danken ze aan de speciale bouw van hun achterpoten. De bouw van zo'n poot is weergegeven in figuur 1.
De voet draait rondom punt D in de enkel en steunt in punt S op de grond. De voet is met een spier verbonden via pees P.

figuur 1



In figuur 1 staat de kangoeroe stil.

3p **5** Leg uit of de kracht in pees P groter is dan, kleiner is dan, of even groot is als de normaalkracht op de voet in punt S. Verwaarloos hierbij de zwaartekracht op de voet.

De pees bestaat uit veerkrachtig materiaal.
Tijdens het springen is de maximale spanning in de pees 27 MPa.
De pees rekt daarbij 2,5% uit.
De uitrekking van de pees is (vrijwel) lineair.

3p **6** Bereken de elasticiteitsmodulus van de pees.

De pees brengt de spierkracht over naar de voet, maar dient tevens als een sterke veer. De energie die in de pees wordt opgeslagen noemen we de veerenergie.

Er is een filmpje gemaakt van een springende kangoeroe. Op de uitwerkbijlage zijn zes opeenvolgende beelden van de bewegende kangoeroe weergegeven.

3p **7** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage aan of voor de aangegeven situaties:
- de zwaarte-energie E_z van de kangoeroe toeneemt (↑), afneemt (↓) of gelijk blijft (=);
- de veerenergie E_{veer} in de pees toeneemt (↑), afneemt (↓) of gelijk blijft (=).

©ThiemeMeulenhoff

uitwerkbijlage bij vraag 7

foto 1 afzet

foto 2 net los van de grond

foto 3 hoogste punt

foto 4 net op de grond

foto 5 laagste punt

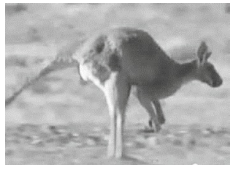


foto 6 opnieuw afzet

Omcirkel het juiste alternatief.

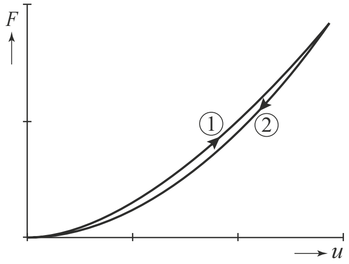
	E_z			E_{veer}		
van foto 1 naar foto 2	↑	↓	=	↑	↓	=
van foto 2 naar foto 3	↑	↓	=	↑	↓	=
van foto 4 naar foto 5	↑	↓	=	↑	↓	=

Tijdens het springen werken de normaalkracht F_n en de zwaartekracht F_z op de kangoeroe.

2p **8** Geef voor de foto's 1, 3 en 5 aan of F_n groter is dan F_z, kleiner is dan F_z, of gelijk is aan F_z.

Om het rendement van de pees (als veer) te onderzoeken is de uitrekking van de pees gemeten met toenemende kracht (1) en met afnemende kracht (2).
Het resultaat staat in figuur 2.
De uitrekking als functie van de kracht bleek niet lineair te verlopen.
De oppervlakte onder het (F,u)-diagram geeft de arbeid aan.

figuur 2



2p **9** Leg met behulp van figuur 2 uit of de pees (als veer) een hoog of een laag rendement heeft.

©ThiemeMeulenhoff

Kernafval

In een kerncentrale wordt elektrische energie opgewekt door uraniumkernen te splijten. Als een uraniumkern wordt beschoten met neutronen, splitst de uraniumkern in andere atoomkernen en neutronen.
De warmte die bij deze reactie ontstaat, wordt gebruikt om elektrische energie op de wekken.

Een voorbeeld van een splijtingsreactie is het splijten van uranium-235 in barium, een andere atoomkern en neutronen. Op de uitwerkbijlage staat deze splijtingsreactie deels weergegeven.

3p **10** Maak de reactievergelijking op de uitwerkbijlage compleet.

uitwerkbijlage bij vraag 10

$$^{235}_{...}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{...}BA \rightarrow ^{90}_{...}... + ^{1}_{0}n$$

In een kerncentrale wordt een mengsel van de isotopen uranium-235 en uranium-238 gebruikt.

1p **11** Waarin verschillen de isotopen U-235 en U-238?
A in aantal protonen
B in aantal neutronen
C in aantal elektronen
D in aantal protonen en aantal elektronen

Millenniumbrug

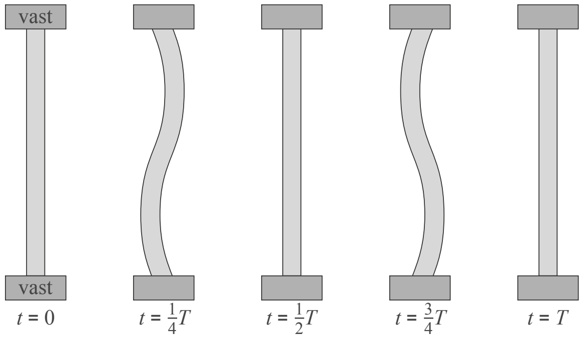
Op 10 juni 2000 werd in Londen de Millenniumbrug geopend.
Zie figuur 1.
Deze hangbrug werd al na drie dagen gesloten. Als er veel mensen op de brug liepen, begon het deel van de brug tussen de pijlers te trillen.
Eerst trilde de brug nog nauwelijks, maar doordat er steeds meer mensen in hetzelfde ritme over de brug gingen lopen als waarmee de brug trilde, werd het trillen van de brug steeds erger.

figuur 1

1p **12** Hoe heet dit natuurkundig verschijnsel?

Om problemen te voorkomen werd de brug gesloten. Technici deden daarna verschillende testen. Het lukte hen om het wegdek tussen de pijlers van de brug een horizontale staande golfbeweging te laten uitvoeren. Van deze staande golfbeweging is op vijf verschillende tijdstippen een bovenaanzicht getekend.
Zie figuur 2.
De trillingstijd van deze golfbeweging is 0,90 s.
De lengte van het deel van het wegdek dat trilt is 144 m. Figuur 2 is niet op schaal.

figuur 2

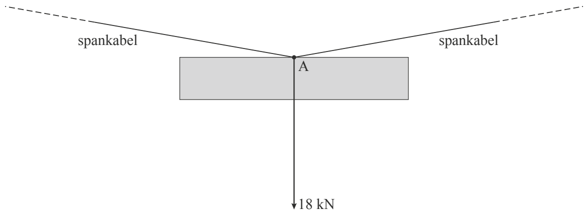


3p **13** Bereken de golfsnelheid in het wegdek.

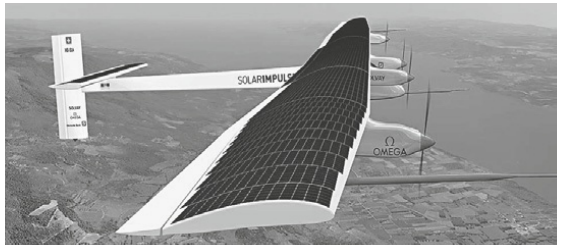
In figuur 3 is een spankabel van de brug getekend waaraan een gedeelte van het wegdek hangt. In punt A van de spankabel werkt een kracht van 18 kN verticaal omlaag.

4p **14** Bepaal met behulp van figuur 3 de grootte van de spankracht in de spankabel.

figuur 3



Solar Impulse



De Solar Impulse is een eenpersoonsvliegtuig dat zonne-energie gebruikt om te vliegen. De ontwerpers hebben het vliegtuig in 2011 een volledige vlucht rond de wereld laten maken. Het vliegtuig vloog op een hoogte van 10 km boven de evenaar met een gemiddelde snelheid van 70 km h^{-1}.

4p **15** Bereken hoeveel dagen deze vlucht duurde.

©ThiemeMeulenhoff

Examenopgaven per onderwerp met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de antwoorden. Ook handig bij de voorbereiding op je schoolexamens!

Deel 1 Oefenen op onderwerp

1 Vaardigheden

Haarföhn

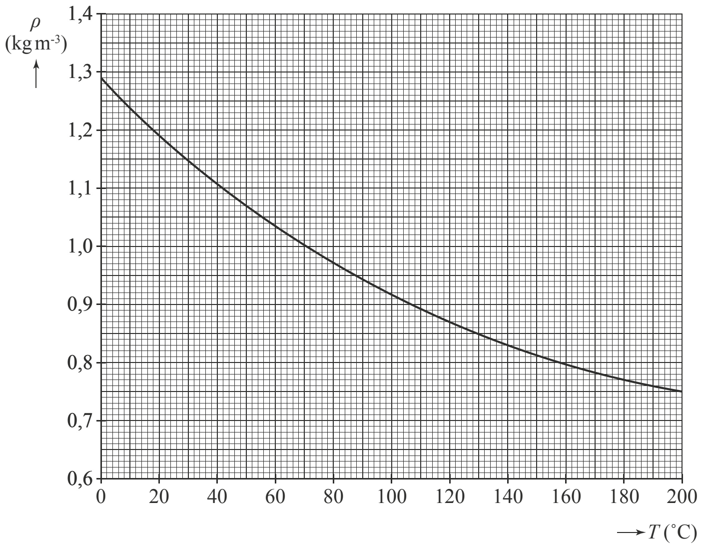
Feline onderzoekt een aantal eigenschappen van een haarföhn. Ze wil allereerst weten hoeveel kg lucht de föhn per seconde uitblaast. Daarvoor gebruikt ze de volgende formule:
$Q = Av\rho$
Hierin is:
– Q de massa van de lucht die per seconde verplaatst wordt,
– A de oppervlakte van de luchtopening van de föhn,
– v de snelheid van de uitgeblazen lucht,
– ρ de dichtheid van de lucht.

1 Laat zien dat Q dezelfde eenheid heeft als $Av\rho$.

Om Q te kunnen berekenen, meet Feline de snelheid van de uitgeblazen lucht en de diameter van de luchtopening. De windsnelheidsmeter geeft voor de snelheid van de lucht 9,5 m s^{-1}. Zie figuur 1.
De diameter van de luchtopening is 4,5 cm.
De dichtheid van lucht is afhankelijk van de temperatuur. Dit is weergegeven in figuur 2.
De föhn blaast lucht van 20 °C.

figuur 1

figuur 2



Uit de metingen van Feline volgt dat $Q = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ kg s^{-1}.

2 Toon dit met een berekening aan.

Om deze berekening te controleren voert Feline een tweede experiment uit. Ze blaast met de föhn een plastic zak met een volume van 60 liter op.
Het opblazen duurt 3,9 s.

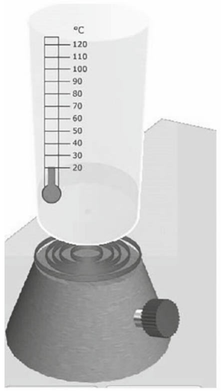
3 Controleer met deze gegevens dat $Q = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ kg s^{-1}.

©ThiemeMeulenhoff

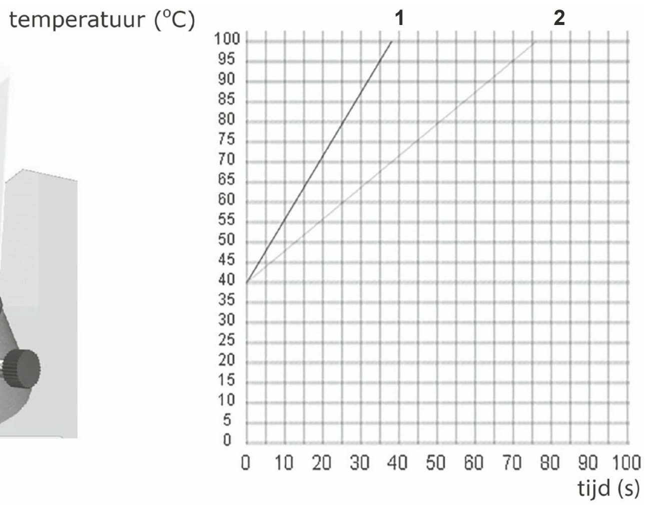
Vloeistoffen verwarmen

In een experiment worden gelijke massa's van water en een andere vloeistof op twee gelijke verwarmingselementen verwarmd (zie figuur 1).
De temperatuur wordt gemeten als functie van de tijd.
Dit levert de volgende grafiek op (zie figuur 2).

figuur 1



figuur 2

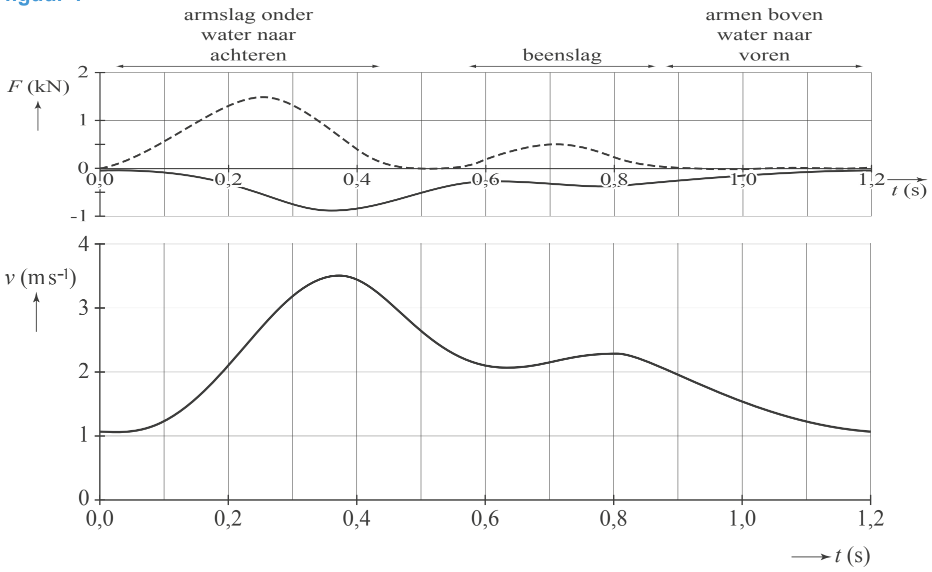


4 Leg uit welke stof, 1 of 2, de grootste soortelijke warmte heeft.

Vijftig meter vlinderslag

In figuur 1 staat het verloop van de voortstuwingskracht (gestippelde lijn) en de snelheid van een zwemmer tijdens één zwemslag.

figuur 1



©ThiemeMeulenhoff

De zwemmer verricht de meeste arbeid in de eerste 0,5 s. De arbeid die hij tussen t = 0 s en t = 0,5 s verricht, is (ongeveer) gelijk aan:

a 0,09 kJ
b 0,3 kJ
c 0,9 kJ
d 3,0 kJ

5 Welke van deze antwoorden is juist? Licht je antwoord toe op basis van schattingen.

Auto

Figuur 1 toont een foto van een auto.
Door de snelheid waarmee de auto rijdt, is de afbeelding op de foto onscherp.
De onscherpte in de foto van figuur 1 is ontstaan doordat de sluiter van de fotocamera bij het nemen van de foto enige tijd open stond, in dit geval 1/30 seconde.
De wielen van de gefotografeerde auto hebben in werkelijkheid een diameter van 65 cm.

figuur 1

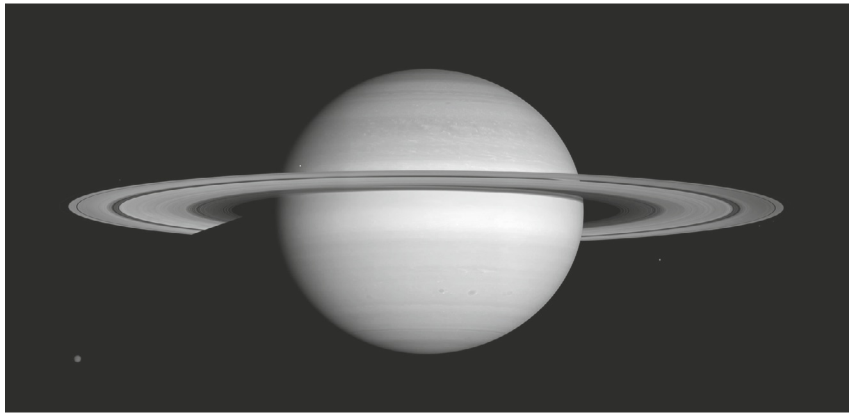
6 Schat de snelheid waarmee de auto reed. Licht je antwoord toe.

©ThiemeMeulenhoff

Ringen van Saturnus

Saturnus is de op één na grootste planeet van ons zonnestelsel. Saturnus staat bekend om zijn ringen rond de evenaar, die bestaan uit ijs- en rotsdeeltjes.
De diameter van deze deeltjes kan variëren van een enkele centimeter tot een meter. Zie figuur 1.

figuur 1



De ringen strekken zich uit tot een straal van $137 \cdot 10^6$ m en blijken minder dan 100 m dik te zijn. Ze worden vaak met een DVD-schijfje vergeleken, wat betreft de verhouding tussen straal en dikte.

7 Laat aan de hand van een berekening zien of de Saturnus-ringen in verhouding veel dunner of veel dikker zijn dan een DVD-schijfje.

©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 1

1 Vul de eenheden in van A, v en ρ.

2 Gebruik figuur 2 voor de bepaling van ρ.

3 Gebruik $\rho = \frac{m}{V}$

4 Let op het verschil in temperatuurstijging als de opwarmtijd gelijk is.

5 Werk met de gemiddelde stuwkracht en snelheid om een schatting te maken.

6 Meet de hoogte en de breedte van het onscherpe achterwiel op de foto.

7 Bereken de dikte van het DVD-schijfje als de vergelijking met Saturnus juist zou zijn.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 1

Haarföhn

1 $[Q]$ = kg s^{-1}
$[A \cdot v \cdot \rho] = m^2 \cdot m\,s^{-1} \cdot kg\,m^{-3} = kg\,s^{-1}$
Q heeft dus dezelfde eenheid als $A \cdot v \cdot \rho$

2 $Q = A \cdot v \cdot \rho$, waarin:
A = oppervlakte van de luchtopening $= \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{1}{2}d\right)^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d^2$ (Binas 36B), met:
r = straal van de cirkelvormige opening
d = diameter van de opening = 4,5 cm = $4{,}5 \cdot 10^{-2}$ m
zodat: $A = \frac{1}{4}\pi \cdot (4{,}5 \cdot 10^{-2})^2 = 1{,}59 \cdot 10^{-3}\ m^2$
v = snelheid van de lucht = 9,5 m s^{-1}
ρ = dichtheid van de lucht bij 20 °C
Aflezen in figuur 2 geeft: ρ = 1,19 kg m^{-3}
Invullen: $Q = 1{,}59 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}5 \cdot 1{,}19 = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ kg s^{-1}

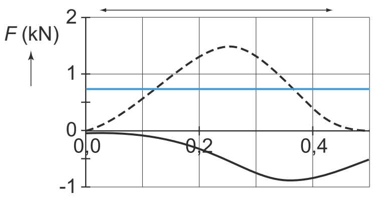
3 *methode 1*
In 3,9 s wordt de plastic zak met een volume V = 60 L = $60 \cdot 10^{-3}\ m^3$ gevuld met lucht.
Dat is $\frac{60 \cdot 10^{-3}}{3{,}9} = 1{,}54 \cdot 10^{-2}\ m^3$ per seconde.
Voor de dichtheid ρ van de lucht geldt: $\rho = \frac{m}{V}$ (Binas 35C1) $\Rightarrow m = \rho \cdot V$
Voor de massa $\frac{m}{t}$ van de lucht die per seconde in de zak wordt geblazen, geldt dus:
$\frac{m}{t} = Q = 1{,}19 \cdot 1{,}54 \cdot 10^{-2} = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ kg s^{-1} (voor ρ : zie het vorige antwoord)
methode 2
De massa m van de lucht in de zak volgt uit:
$m = \rho \cdot V$ (Binas 35C1) $= 1{,}19 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 7{,}14 \cdot 10^{-2}$ kg (voor ρ : zie het vorige antwoord).
Het opblazen duurt 3,9 s, dus: $Q = \frac{7{,}14 \cdot 10^{-2}}{3{,}9} = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ kg s^{-1}

Vloeistoffen verwarmen

4 De soortelijke warmte c vinden we uit: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (Binas 35C4), waarin:
Q = warmte-afgifte (deze is voor beide vloeistoffen in dezelfde tijd gelijk)
c = soortelijke warmte (deze is voor vloeistof 1 en vloeistof 2 niet gelijk)
m = massa van de vloeistof (deze is voor beide vloeistoffen gelijk)
ΔT = temperatuurstijging (deze is voor vloeistof 1 en vloeistof 2 niet gelijk)
Op hetzelfde tijdstip geldt: $Q_1 = Q_2 \Rightarrow (c \cdot m \cdot \Delta T)_1 = (c \cdot m \cdot \Delta T)_2 \Rightarrow$
$\Rightarrow c_1 \cdot \Delta T_1 = c_2 \cdot \Delta T_2$
Uit de grafiek lezen we op hetzelfde tijdstip af: $\Delta T_1 > \Delta T_2 \Rightarrow c_2 > c_1$
De soortelijke warmte van stof 2 is dus het grootst.

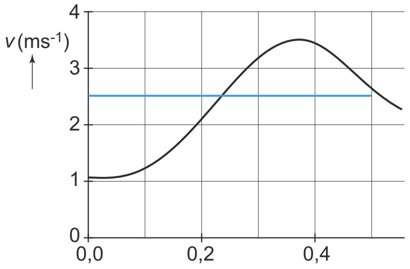
Vijftig meter vlinderslag

5 De verrichte arbeid W in de eerste 0,5 s volgt uit: $W = F_{stuw} \cdot s$ (Binas 35A4)
Nu is de stuwkracht F_{stuw} niet constant tussen t = 0 s en t = 0,5 s. Om W te schatten bepalen we met tekening 1 de gemiddelde stuwkracht tussen t = 0 s en t = 0,5 s
$\Rightarrow F_{stuw} = 0{,}7\ kN = 0{,}7 \cdot 10^3$ N



tekening 1

De afgelegde weg s bepalen we met tekening 2 uit: $s = v_{gem} \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
v_{gem} = gemiddelde snelheid in de eerste 0,5 s = = 2,5 m s^{-1} (zie tekening 2)
t = 0,5 s
zodat: $s = 2{,}5 \cdot 0{,}5 = 1{,}3$ m
Invullen: $W = 0{,}7 \cdot 10^3 \cdot 1{,}3 = 9 \cdot 10^2$ J = 0,9 kJ
Antwoord c is dus juist.
s is in tekening 2 ook de oppervlakte onder de grafiek van t = 0 s tot t = 0,5 s.



tekening 2

Auto

6 Het wiel op de foto is ongeveer 5 mm hoog en 12 mm breed. In $\frac{1}{30}$ s heeft het wiel dus horizontaal ongeveer 7 mm = 1,4 maal zijn eigen diameter afgelegd.
Voor de snelheid v van de auto geldt: $v = \frac{s}{t}$ (Binas 35A1), waarin:
s = afgelegde weg = $1{,}4 \cdot 0{,}65$ m
t = tijdsduur = $\frac{1}{30}$ s = 0,033 s
Invullen: $v = \frac{1{,}4 \cdot 0{,}65}{0{,}033} = 3 \cdot 10^1$ m s^{-1}

Ringen van Saturnus

7 Als een DVD-schijfje, wat betreft de verhouding tussen straal en dikte, te vergelijken zou zijn met de ringen van Saturnus, zouden we de dikte d_{DVD} van een DVD als volgt kunnen berekenen:
$\frac{d_{DVD}}{r_{DVD}} = \frac{d_{ring}}{r_{ring}} \Rightarrow d_{DVD} = d_{ring} \cdot \frac{r_{DVD}}{r_{ring}}$, waarin:
r_{DVD} = geschatte straal van een DVD = 6 cm = $6 \cdot 10^{-2}$ m
d_{ring} = maximale dikte van de ringen van Saturnus = 100 m
r_{ring} = grootste straal van de ringen van Saturnus = $137 \cdot 10^6$ m
Invullen: $d_{DVD} = 100 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-2}}{137 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-8}$ m

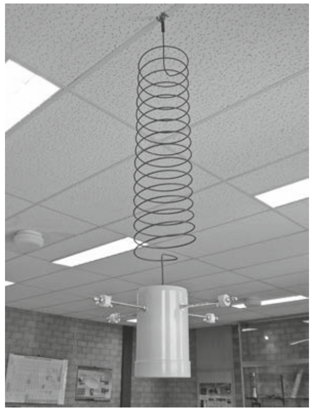
Een DVD-schijfje is veel dikker dan $4 \cdot 10^{-8}$ m, dus de Saturnus-ringen zijn in verhouding veel dunner dan een DVD-schijfje.

2 Informatie-overdracht

Slinger van Wilberforce

De slinger van Wilberforce bestaat uit een veer waar een blok aan hangt. Zie figuur 1.
Als het blok verticaal omlaag getrokken wordt en dan wordt losgelaten, ontstaat er een bijzondere beweging. Eerst beweegt het blok op en neer en draait nauwelijks heen en weer. Het draaien neemt toe en het op en neer bewegen neemt af.
Na een tijdje draait het blok alleen nog maar heen en weer en is de verticale trilling verdwenen.
Vervolgens komt de verticale beweging weer langzaam op gang en neemt het draaien af totdat het blok alleen nog maar op en neer beweegt en niet meer heen en weer draait.
Dit herhaalt zich net zo lang totdat het blok door demping tot stilstand komt.

figuur 1



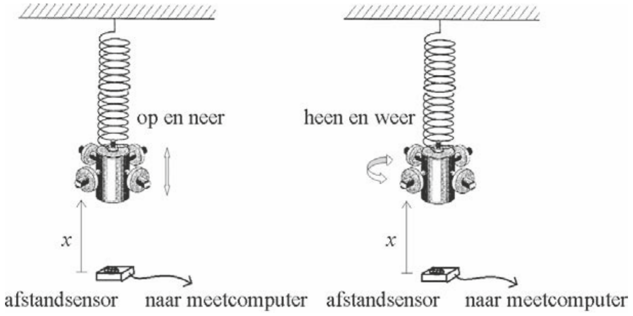
In de opstelling van figuur 1 heeft het blok een massa van 2,8 kg.
De veerconstante van de veer is gelijk aan 49 Nm^{-1}.
Om de beweging te demonstreren, wordt het blok aan de veer voorzichtig 9,0 cm omlaag getrokken.

Als het blok wordt losgelaten, gaat de veer trillen met een frequentie van 0,67 Hz.

1 Toon dit aan met behulp van een berekening.

Onder de slinger wordt een afstandssensor gelegd, zodat de afstand van de onderkant van het blok tot de sensor als functie van de tijd gemeten kan worden. Zie figuur 2.
Het resultaat van zo'n meting is op de uitwerkbijlage in een (*x*,*t*)-diagram weergegeven.

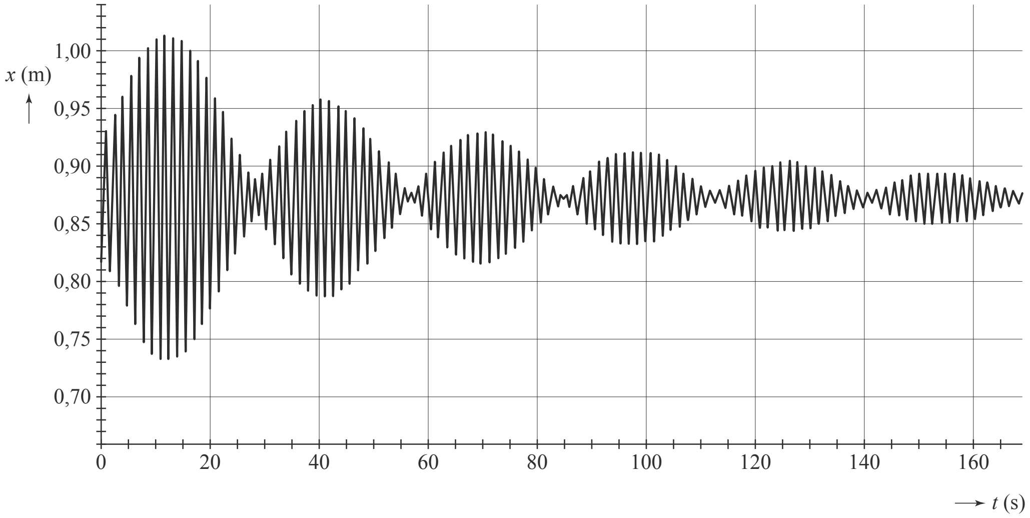
figuur 2



©ThiemeMeulenhoff

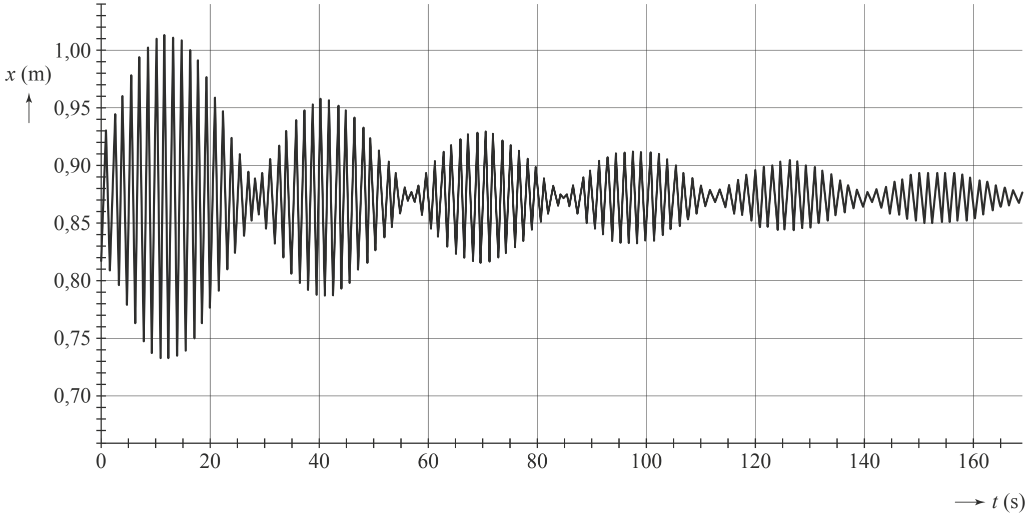
2 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van de onderkant van het blok tot de sensor, als het blok tot stilstand is gekomen.

uitwerkbijlage bij vraag 2



3 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage met de letter V alle tijdstippen aan waarop het blok alléén verticaal op en neer beweegt en niet draait.

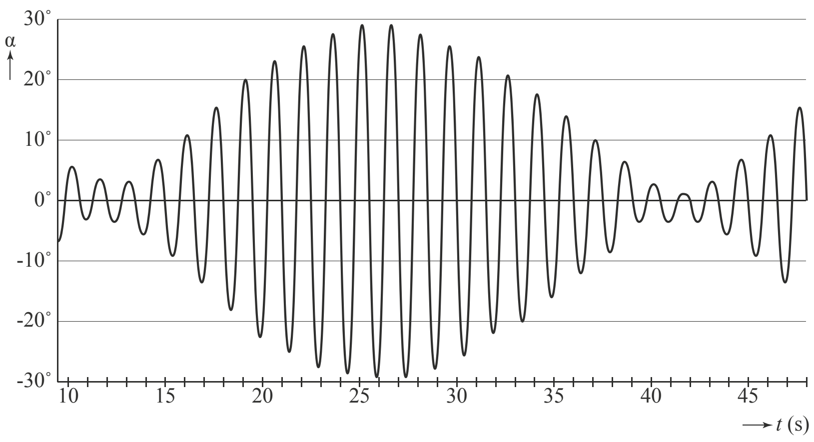
uitwerkbijlage bij vraag 3



©ThiemeMeulenhoff

Met een draaihoeksensor wordt vervolgens de hoek waarover het blok draait als functie van de tijd gemeten. Het resultaat van deze meting is in figuur 3 weergegeven.

figuur 3



4 Beantwoord nu de volgende vragen:
- Bepaal met behulp van figuur 3 de draaifrequentie van de slinger van Wilberforce. Licht je antwoord toe.
- Leg uit of er bij de slinger van Wilberforce sprake is van resonantie.

Vleugel

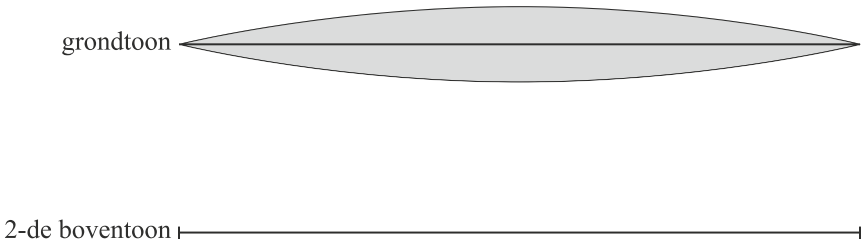
Een vleugel is een muziekinstrument met toetsen en snaren, zie figuur 1.
Als een toets wordt ingedrukt slaat een houten hamertje (bekleed met vilt) tegen een strak gespannen snaar die vervolgens gaat trillen.

figuur 1

De klank die je hoort bestaat uit de grondtoon en enkele boventonen.
Op de uitwerkbijlage is een snaar getekend die trilt in de grondtoon.

5 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de plaats van de knopen en de buiken op deze snaar aan als de snaar trilt in de tweede boventoon.

uitwerkbijlage bij vraag 5



Afhankelijk van de plek waar het hamertje de snaar raakt, zullen de verschillende boventonen wel of niet meeklinken.

Stel dat het hamertje neerkomt op $\frac{1}{8}$ deel van de lengte van de snaar.

De boventoon die op deze plek een knoop heeft, klinkt dan niet mee.

6 Welke boventoon klinkt dan niet mee?

A vierde boventoon
B zevende boventoon
C achtste boventoon
D negende boventoon
E zestiende boventoon

Aan de vorm van het instrument is te zien dat niet alle snaren even lang zijn.
Zie figuur 1. De snaar die de hoogste toon voortbrengt heeft een lengte van 40 cm.
De hoogste toon van de vleugel heeft een frequentie van 4186 Hz, de laagste frequentie is 32,70 Hz.
Veronderstel dat alle snaren even strak gespannen zijn, even dik zijn, en van hetzelfde materiaal zijn.

7 Toon met een berekening aan dat de lengte die de langste snaar dan zou moeten hebben niet in een vleugel past.

De toonhoogte van een snaar hangt, behalve van de lengte, ook af van de spankracht in de snaar. Voor de voortplantingssnelheid *v* van de golven in de snaar geldt:

$$v = \sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}}$$

Hierin is:
– F_s de spankracht in de snaar;
– m de massa van de snaar;
– ℓ de lengte van de snaar.

Om ervoor te zorgen dat de snaren die de lage tonen moeten voortbrengen toch in de vleugel passen, kun je verschillende maatregelen nemen. Op de uitwerkbijlage staan hierover twee beweringen.

8 Geef van elke bewering aan of deze bewering juist of onjuist is.

uitwerkbijlage bij vraag 8

	bewering	juist	onjuist
1	De grondtoon van een snaar wordt lager als je de snaar strakker spant.		
2	Als een snaar van roestvrij staal vervangen wordt door een snaar van koper, wordt de grondtoon lager. (De spankracht en de diameter veranderen niet.)		

Eén van de snaren heeft een lengte van 90 cm en een massa van 5,7 g.
De grondtoon van deze snaar is 220 Hz.

9 Bereken de spankracht in deze snaar.

Het is belangrijk dat een vleugel goed gestemd is. Een pianostemmer kan daarvoor elke snaar precies de juiste spankracht geven. Voor de spankracht waarmee de snaar moet worden gespannen geldt:

$$F_s = \pi \rho \ell^2 d^2 f^2$$

Hierin is:
– ρ de dichtheid van het materiaal van de snaar;
– ℓ de lengte van de snaar;
– d de diameter van de snaar;
– f de frequentie waarmee de snaar moet trillen.

In tabel 15C van Binas is gegeven welke frequenties horen bij welke toetsen van een vleugel. Zo is te zien dat bij de noot a1 een frequentie hoort van 440 Hz.
Eén van de snaren is 80 cm lang, heeft een diameter van 0,94 mm en is gemaakt van roestvrij staal (zie Binas tabel 9). De spankracht in deze snaar is 949 N.

10 Ga met een berekening na welke noot van de vleugel bij deze snaar hoort.

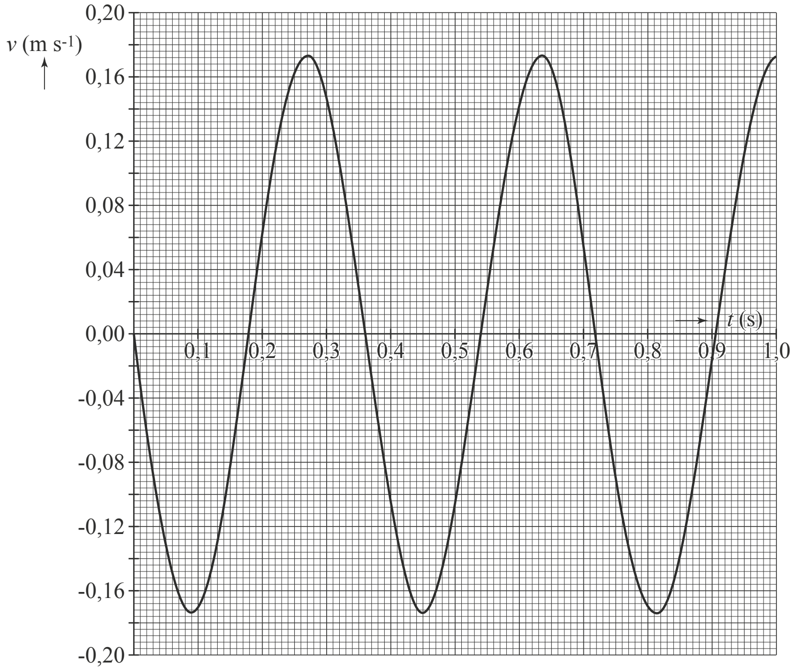
Trillingen in een vrachtwagen

Een chauffeur van een vrachtwagen heeft vaak last van trillingen, die veroorzaakt worden door de motor van de vrachtwagen. Deze trillingen worden via de chauffeursstoel aan de chauffeur doorgegeven. Deze trillingen kunnen, naast ongemak, ook schade aan de rug veroorzaken.
Het is daarom belangrijk dat er strenge eisen worden gesteld aan de kwaliteit van een chauffeursstoel.
In deze opgave gaan we stapsgewijs enkele van die eisen na.

Uit onderzoek is gebleken dat vooral trillingen met een frequentie tussen 2,0 Hz en 80 Hz schade aan de rug veroorzaken. Op de uitwerkbijlage is een (*v*,*t*)-diagram van een trilling van een chauffeursstoel gegeven.

11 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage of deze trilling binnen het genoemde frequentiegebied valt.

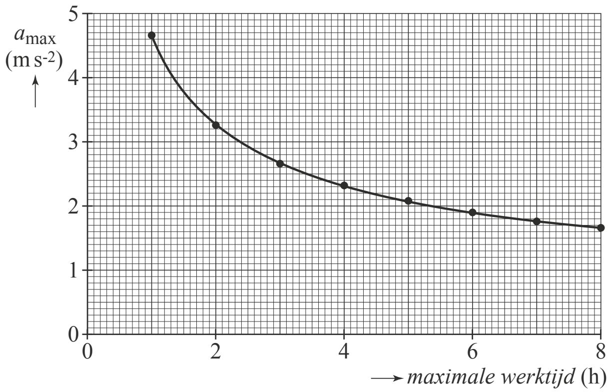
uitwerkbijlage bij de vragen 11 en 12



De maximale versnelling die een chauffeur gedurende een bepaalde tijd ondervindt, bepaalt hoe schadelijk de trillingen zijn. In de uitwerkbijlage staat uitgezet hoe lang de chauffeur mag werken bij een bepaalde maximale versnelling.

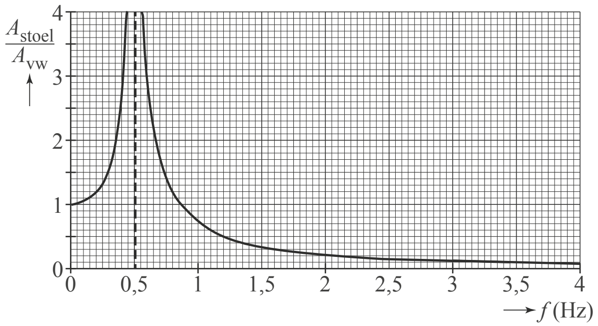
12 Bepaal met behulp van de beide uitwerkbijlagen hoe lang een chauffeur mag werken als hij deze trillingen ondervindt.

uitwerkbijlage bij vraag 12



Stoelen in vrachtwagens zijn vaak op een veersysteem geplaatst.
In figuur 1 is de verhouding gegeven tussen de amplitude van de beweging van de stoel en de amplitude van de vrachtwagen als functie van de frequentie.

figuur 1



13 Zijn de problemen in het gebied vanaf 2,0 Hz met dit veersysteem nu minder? Leg je antwoord uit.

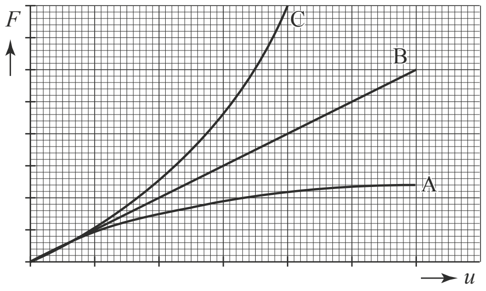
De eigenfrequentie van het systeem is 0,50 Hz.
De chauffeur heeft een massa van 90 kg, de veerconstante van de veer in de stoel is $C = 1{,}3 \cdot 10^3\ \mathrm{N\,m^{-1}}$.

14 Bereken de massa van de stoel.

Als een chauffeur op deze stoel gaat zitten, zakt de stoel te ver in. Daarom moet de veer in de stoel vervangen worden door een veer waarbij de veerconstante toeneemt als de kracht op de veer toeneemt.
In figuur 2 is een (F,u)-diagram gegeven voor drie verschillende veren.

15 Welke veer (A, B, of C) is het meest geschikt voor deze chauffeursstoel?

figuur 2



Hints bij hoofdstuk 2

1 Zie Binas tabel 35B1.
2 Waar bevindt zich de evenwichtsstand van het trillende blok?
3 Wat weet je van de amplitude van de verticale trilling als het blok niet draait?
4 Hoe lang doet het blok over 20 volledige draaiingen?
5 Bij elke volgende boventoon wordt het aantal knopen (en buiken) één groter.
6 Op een afstand van $\frac{1}{8}$ snaarlengte liggen twee knopen.
7 De lengte van de snaar is recht evenredig met de golflengte van de (grond)toon.
8 Ga in beide gevallen na wat er met de snelheid van de golf in de snaar gebeurt.
9 Hoe groot is de golflengte van de grondtoon?
10 Voor de dichtheid van roestvrij staal: zie Binas 9.
11 Bepaal de trillingstijd T van de trilling.
12 Hoe vind je in het (v,t)-diagram de versnelling op een bepaald tijdstip?
13 Zonder veersysteem is $\frac{A_{stoel}}{A_{vw}} = 1$.
14 Wat is bij een massa-veersysteem het verband tussen T, m en C?
15 Ga bij elk van de drie grafieken na wat er met u gebeurt als F 2x zo groot wordt.

Uitwerkingen bij hoofdstuk 2

Slinger van Wilberforce

1 De frequentie f waarmee de veer gaat trillen, volgt uit:

$f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de trilling

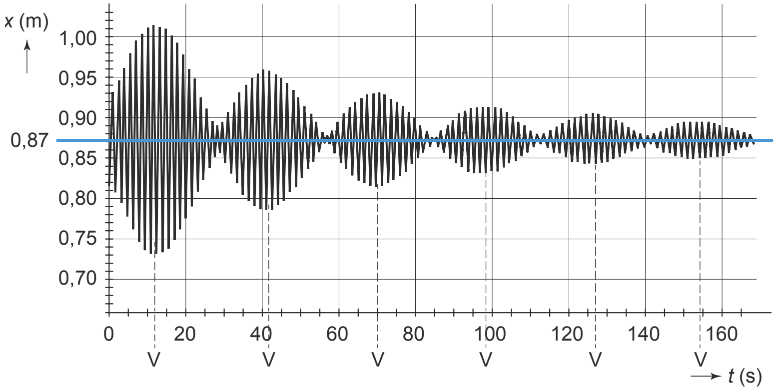
Er geldt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1), met:

m = massa van het blok = 2,8 kg
C = veerconstante = 49 N m^{-1}

zodat: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{2{,}8}{49}} = 1{,}50$ s

Invullen: $f = \frac{1}{1{,}50} = 0{,}67$ Hz

2 Zie de tekening.
Uit de figuur blijkt dat de evenwichtsstand van het trillende blok op 0,87 m boven de grond ligt. Als het blok tot stilstand is gekomen, zal de afstand van de onderkant van het blok tot de sensor dus 0,87 m zijn.



3 Zie de tekening.
Als het blok alléén verticaal op en neer beweegt en niet draait, zal de amplitude van de trilling maximaal zijn. Dat is in de tekening op 6 plaatsen het geval.

4 – Zie figuur 3.
Van het tijdstip $t = 12$ s tot het tijdstip $t = 42$ s voert het blok 20 volledige draaiingen uit.

De trillingstijd T van deze draaibeweging is dus: $T = \frac{42 - 12}{20} = 1{,}50$ s

Voor de draaifrequentie f van de slinger geldt dan:

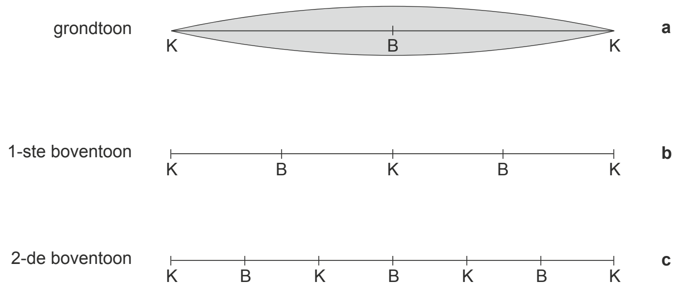
$f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1) $= \frac{1}{1{,}50} = 0{,}67$ Hz

– De frequentie van de draaibeweging is gelijk aan de frequentie van de op- en neergaande beweging. Er is dus sprake van resonantie.

Vleugel

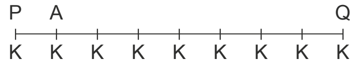
5 Zie tekening 1a, 1b en 1c: dan zie je dat 1c de situatie weergeeft, waarin de snaar zijn tweede boventoon voortbrengt.
Het linker- en rechter uiteinde van de snaar zijn ingeklemd, dus daar bevinden zich altijd knopen (K).

- *Als de snaar trilt in de grondtoon, is het midden een buik B (tekening 1a).*
- *Als de snaar trilt in de eerste boventoon, komen er ten opzichte van de grondtoon een knoop K en een buik B bij; het midden van de snaar is dan een knoop K (tekening 1b).*
- *Als de snaar trilt in de tweede boventoon, komen er ten opzichte van de eerste boventoon opnieuw een knoop K en een buik B bij: het midden van de snaar is een buik B (tekening 1c).*



tekening 1

6 Antwoord B is goed.
Zie tekening 2.
Het hamertje komt neer in het punt A, waarvoor geldt: $PA = \frac{1}{8} \cdot PQ$ (P en Q zijn de uiteinden van de snaar).
In het punt A heeft deze boventoon een knoop K;
er bevinden zich bij deze boventoon dus 9 knopen op de snaar.
De grondtoon heeft 2 knopen (tekening 1a).
De eerste boventoon heeft 3 knopen (tekening1b).
De tweede boventoon heeft 4 knopen (tekening 1c).
De zevende boventoon zal dus 9 knopen hebben.



tekening 2

7 Omdat de lengte ℓ van een snaar recht evenredig is met de golflengte λ van de toon die de snaar voortbrengt, geldt voor de lengte ℓ_{lang} van de langste snaar:

$\frac{\ell_{lang}}{\ell_{kort}} = \frac{\lambda_{lang}}{\lambda_{kort}} = \frac{\frac{v}{f_{lang}}}{\frac{v}{f_{kort}}}$ (Binas 35B2) $= \frac{f_{kort}}{f_{lang}}$, waarin:

ℓ_{kort} = lengte van de kortste snaar = 40 cm = 0,40 m
λ_{lang} = golflengte van de laagste toon van de vleugel
λ_{kort} = golflengte van de hoogste toon van de vleugel
v = voortplantingssnelheid van de golf in de snaar
f_{lang} = frequentie van de laagste toon van de vleugel = 32,70 Hz
f_{kort} = frequentie van de hoogste toon van de vleugel = 4186 Hz

Invullen: $\frac{\ell_{lang}}{0{,}40} = \frac{4186}{32{,}70} \Rightarrow \ell_{lang} = 51{,}2$ m

Deze lengte is veel groter dan de vleugel; de snaar past dus niet in de vleugel.

8 Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

Bewering 1

Als je de snaar strakker spant (F_s wordt groter), dan wordt volgens:

$v = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}}$ *de voortplantingssnelheid v van de golf in de snaar ook groter.*

Volgens $v = \lambda_0 \cdot f_0$ *(Binas 35B2), wordt de frequentie* f_0 *van de grondtoon dan hoger* $(\lambda_0 = 2 \cdot \ell$ *is constant).*

Bewering 1 is dus onjuist.

Bewering 2

De dichtheid ρ van koper is groter dan die van roestvrij staal (Binas 8 en 9).

	bewering	juist	onjuist
1	De grondtoon van een snaar wordt lager als je de snaar strakker spant.		X
2	Als een snaar van roestvrij staal vervangen wordt door een snaar van koper, wordt de grondtoon lager. (De spankracht en de diameter veranderen niet.)	X	

Volgens Binas 35C1 geldt: $m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot \ell$.

Dus de massa m_k *van de koperen snaar is bij gelijke lengte* ℓ *en diameter d van de snaar groter dan de massa* m_{rvs} *van de roestvrij stalen snaar.*

Volgens: $v = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}}$ *is de voortplantingssnelheid v van de golf in de koperen snaar bij gelijkblijvende* F_s *dan kleiner dan die in de snaar van roestvrij staal.*

Volgens $v = \lambda_0 \cdot f_0$ *(Binas 35B2) zal de frequentie* f_0 *in de koperen snaar dan ook lager zijn dan die van de snaar van roestvrij staal. Bewering 2 is dus juist.*

9 Voor de spankracht F_s in deze snaar geldt: $v = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot \ell}{m}}$, waarin:

v = voortplantingssnelheid van de golf in de snaar

Voor de grondtoon geldt: $v = \lambda_0 \cdot f_0$ (Binas 35B2), met:

λ_0 = golflengte van de grondtoon = $2 \cdot \ell$ (zie tekening 1a), met:

ℓ = lengte van de snaar = 90 cm = 0,90 m $\Rightarrow$ $\lambda_0 = 2 \cdot 0{,}90 = 1{,}80$ m

f_0 = frequentie van de grondtoon = 220 Hz

zodat: $v = 1{,}80 \cdot 220 = 396\ \text{m s}^{-1}$

ℓ = lengte van de snaar = 90 cm = 0,90 m

m = massa van de snaar = 5,7 g = $5{,}7 \cdot 10^{-3}$ kg

Invullen: $396 = \sqrt{\dfrac{F_s \cdot 0{,}90}{5{,}7 \cdot 10^{-3}}} \Rightarrow F_s = 9{,}9 \cdot 10^2$ N

10 We berekenen de frequentie f van de snaar met $F_s = \pi \cdot \rho \cdot \ell^2 \cdot d^2 \cdot f^2$, waarin:

F_s = spankracht in de snaar = 949 N

ρ = dichtheid van roestvrij staal = $7{,}8 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 9)

ℓ = lengte van de snaar = 80 cm = 0,80 m

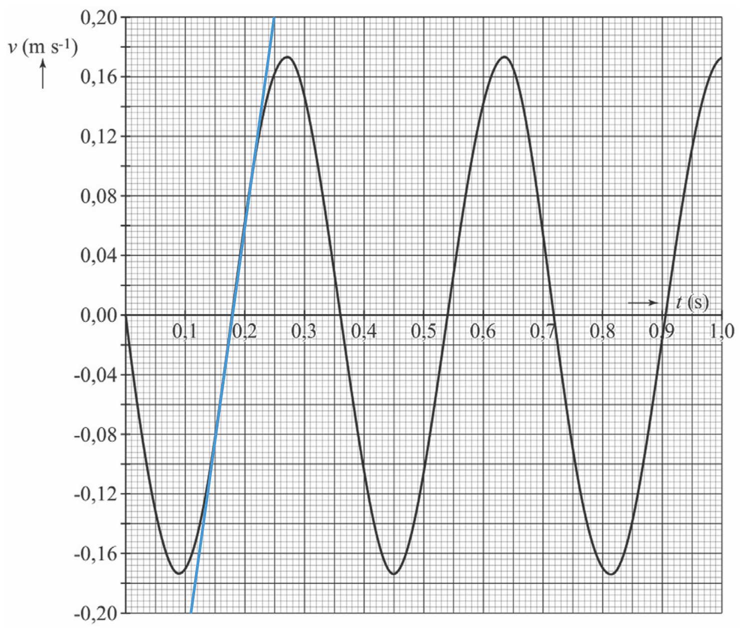
d = diameter van de snaar = 0,94 mm = $0{,}94 \cdot 10^{-3}$ m

Invullen: $949 = \pi \cdot 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot 0{,}80^2 \cdot (0{,}94 \cdot 10^{-3})^2 \cdot f^2 \Rightarrow f^2 = 6{,}848 \cdot 10^4 \Rightarrow$

$\Rightarrow f = \sqrt{6{,}848 \cdot 10^4} = 261{,}7$ Hz   Volgens Binas tabel 15C is dat de noot C1.

Trillingen in een vrachtwagen

11 Zie de tekening (de uitwerkbijlage bij vraag 11 en 12).



Voor de frequentie f van de trilling van de chauffeursstoel geldt:

$f = \dfrac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de trilling

In de tekening lezen we af: $2{,}0 \cdot T = 0{,}72 \Rightarrow T = \dfrac{0{,}72}{2{,}0} = 0{,}36$ s

Invullen: $f = \dfrac{1}{0{,}36} = 2{,}8$ Hz

Deze frequentie ligt binnen het frequentiegebied van 2,0 Hz tot 80 Hz.

12 Zie de tekening.

We bepalen eerst de maximale versnelling a_{max} die een chauffeur gedurende een bepaalde tijd kan ondervinden. Deze vinden we door een raaklijn te tekenen aan de grafiek op een moment dat de grafiek het steilst is.

a_{max} is de richtingscoëfficiënt (helling) van deze raaklijn.

We kiezen hiervoor het tijdstip $t = 0{,}18$ s en lezen af:

$a_{max} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{0{,}20 - (-0{,}20)}{0{,}25 - 0{,}11} = \dfrac{0{,}40}{0{,}14} = 2{,}9\ \text{m s}^{-2}$

In de uitwerkbijlage bij vraag 12 lezen we af dat de maximale werktijd dan 2,5 uur is.

13 In figuur 1 lezen we af dat voor het frequentiegebied vanaf 2,0 Hz de verhouding geldt: $\dfrac{A_{stoel}}{A_{vw}} < 1 \Rightarrow A_{stoel} < A_{vw}$, waarin:

A_{stoel} = amplitude van de beweging van de stoel

A_{vw} = amplitude van de beweging van de vrachtwagen

De problemen in het gebied vanaf 2,0 Hz zijn met dit veersysteem dus minder.

14 We berekenen de massa m_{st} van de stoel met:

$m = m_{st} + m_{ch} \quad \Rightarrow \quad m_{st} = m - m_{ch}$, waarin:

m = massa die in trilling wordt gebracht

Er geldt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1), met:

T = trillingstijd van de eigentrilling $= \frac{1}{f}$ (Binas 35B1), met:

f = eigenfrequentie van het systeem = 0,50 Hz

zodat $T = \frac{1}{0{,}50} = 2{,}0$ s

C = veerconstante van de veer in de stoel = $1{,}3 \cdot 10^3$ N m^{-1}

zodat: $2{,}0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1{,}3 \cdot 10^3}} \Rightarrow 4\pi^2 \cdot \frac{m}{1{,}3 \cdot 10^3} = (2{,}0)^2 \Rightarrow m = \frac{1{,}3 \cdot 10^3 \cdot 4{,}0}{4\pi^2} = 132$ kg

m_{ch} = massa van de chauffeur = 90 kg

Invullen: $m_{st} = 132 - 90 = 42$ kg

15 Antwoord C is juist.

- *Bij veer B blijft de veerconstante $C = \frac{F}{u}$ gelijk als F toeneemt (F en u zijn recht evenredig met elkaar).*
- *Bij veer A wordt de veerconstante $C = \frac{F}{u}$ kleiner als F toeneemt (als F 2x zo groot wordt, wordt u meer dan 2x zo groot).*
- *Bij veer C wordt de veerconstante $C = \frac{F}{u}$ groter als F toeneemt (als F 2x zo groot wordt, wordt u minder dan 2x zo groot).*

©ThiemeMeulenhoff

3 Medische beeldvorming

Koolstof-14-methode

Om de ouderdom van organisch materiaal te bepalen, kan men gebruik maken van de koolstof-14-methode. Koolstof-14 is een radioactieve isotoop die in de atmosfeer van de aarde voorkomt.
De koolstof-14-methode is in 1949 ontdekt door Willard Frank Libby, die er in 1960 de Nobelprijs voor scheikunde voor ontving.
In deze opgave gaan we stapsgewijs op deze methode in.

In de natuur vinden we drie isotopen van koolstof: ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C.
In de tabel op de uitwerkbijlage staan een aantal eigenschappen van deze isotopen.

1 Omcirkel in de tabel op de uitwerkbijlage het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 1

Is er bij ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C verschil in:

aantal protonen	aantal elektronen	aantal neutronen	massa	halveringstijd
ja / nee	ja / nee	ja / nee	ja / nee	ja / nee

Het aantal C-14 kernen neemt in de loop van de tijd af want C-14 is radioactief via β^--verval.

2 Geef de vervalvergelijking van het radioactieve verval van C-14.

Tegelijkertijd wordt het aantal C-14 kernen in de bovenste lagen van de atmosfeer aangevuld. Neutronen worden ingevangen door stikstof-14 kernen, waarna koolstof-14 ontstaat. Bij dit proces komt nog een ander deeltje vrij.
Het invangen van een neutron door een stikstof-14 kern kan als volgt worden weergegeven: $^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ...$

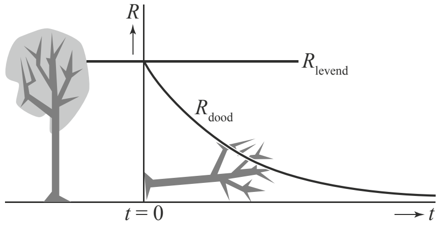
3 Welk deeltje komt er bij dit proces vrij? Licht je antwoord toe door de reactievergelijking compleet te maken.

In alle levende planten en dieren vindt men dezelfde constante verhouding van

$$R = \frac{\text{aantal } ^{14}\text{C-kernen}}{\text{aantal } ^{12}\text{C-kernen}}$$

Als een plant of dier sterft, verandert R, want het koolstof-14 vervalt en wordt niet meer aangevuld.
De afname van R is schematisch weergegeven in figuur 1.

figuur 1



©ThiemeMeulenhoff

Een archeologe heeft een schedel van een sabeltandtijger gevonden waarvan zij de ouderdom wil weten. In het laboratorium meet ze dat *R* precies een kwart is van die van levende dieren.

4 Hoe oud is de schedel? Licht je antwoord toe.

Samarium-153

Cassie, een acht jaar oude hond met een tumor in een bot, is onlangs als eerste hond ter wereld succesvol behandeld met samarium-153.

Samarium-153 komt niet in de vrije natuur voor. Het wordt gemaakt door samarium-152-kernen te beschieten met een bepaald soort deeltjes.

5 Met welk deeltje moet een samarium-152-kern beschoten worden om samarium-153 te vormen?

A alfadeeltje
B betadeeltje
C gammafoton
D neutron
E proton

Samarium-153 zendt zowel β^--straling als γ-straling uit. Het kan daarom zowel voor een behandeling tegen tumoren gebruikt worden als voor een scan.

6 Geef de vervalreactie van samarium-153.

Samarium hecht zich beter aan geïnfecteerd botweefsel dan aan gezond botweefsel. Daarom kan er tijdens de behandeling ook een scan gemaakt worden van de hond waarin zieke botdelen als lichte vlekken te zien zijn. Zie figuur 1.

figuur 1

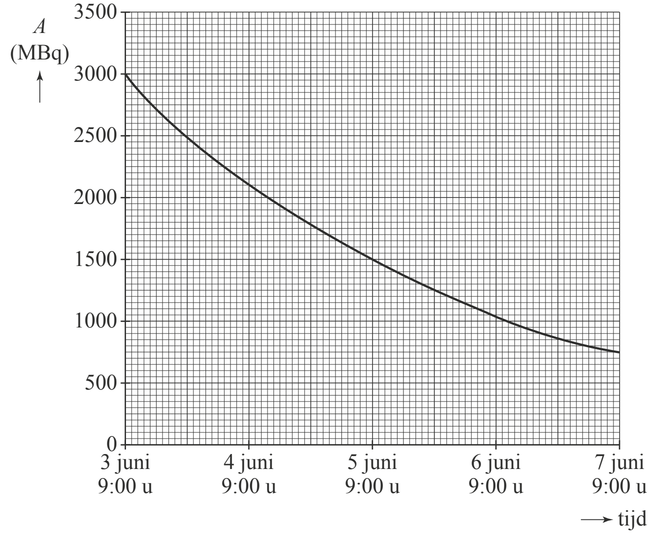
7 Welk soort straling wordt gebruikt om een scan te maken en van welke eigenschap van die straling wordt dan gebruikgemaakt?

A β^--straling, want deze straling heeft een klein doordringend vermogen
B β^--straling, want deze straling heeft een groot doordringend vermogen
C γ-straling, want deze straling heeft een klein doordringend vermogen
D γ-straling, want deze straling heeft een groot doordringend vermogen

Het medicijn, met productiedatum 3 juni 9.00 uur, wordt aangeleverd in een flesje met een inhoud van 15 mL. Zie figuur 2.
De activiteit van het geleverde samarium-153 is weergegeven in figuur 3.

figuur 2

figuur 3



8 Bepaal met behulp van figuur 3 de halveringstijd van samarium-153.

Cassie is op 4 juni om 9.00 uur ’s ochtends ingespoten met het medicijn.
Volgens de arts moet er 37 MBq per kg lichaamsgewicht geïnjecteerd worden.
Cassie heeft een massa van 30 kg.

9 Bepaal hoeveel milliliter van het medicijn ingespoten moet worden.

De tumor in het bot van Cassie werd bestraald met de β^--deeltjes die door het samarium-153 zijn uitgezonden. Elk deeltje had een energie van 233 keV. Tijdens de behandeling heeft het geïnfecteerde bot een stralingsdosis ontvangen van 86,5 Gy ten gevolge van de β^--deeltjes.
De massa van het geïnfecteerde bot is 10 g.

10 Bereken hoeveel β^--deeltjes door het geïnfecteerde bot tijdens de behandeling worden geabsorbeerd.

Een deel van het bij Cassie ingespoten samarium is uitgescheiden met de urine. De urine van Cassie werd daarom opgevangen en gedurende 10 halveringstijden bewaard.

11 Bereken hoeveel procent van de activiteit van het samarium in de opgevangen urine er na die tijd nog over was. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

Röntgenstraling

Lees eerst onderstaande tekst.

In 1901 ontving Wilhelm Röntgen de allereerste Nobelprijs voor natuurkunde 'ter erkenning van de buitengewone diensten die hij heeft geleverd door de ontdekking van de opmerkelijke straling'. Röntgen deed rond 1895 veel onderzoek aan de elektronenbuis. In een elektronenbuis botst een bundel elektronen op een stuk metaal. Ondanks de kartonnen afscherming van de buis zag Röntgen een scherm oplichten dat in de buurt van de elektronenbuis stond. Bij een herhaling van de proef trad opnieuw het lichtverschijnsel op. Vanaf dat moment onderzocht Röntgen systematisch de eigenschappen van deze nieuwe straling, die hij X-straling noemde, naar de onbekende variabele in de wiskunde. Tegenwoordig wordt X-straling ook Röntgenstraling genoemd.

12 Is X-straling voor onze ogen zichtbaar?
- **A** Ja, de golflengte van X-straling is groter dan 750 nm.
- **B** Ja, de golflengte van X-straling is kleiner dan 350 nm.
- **C** Nee, de golflengte van X-straling is groter dan 750 nm.
- **D** Nee, de golflengte van X-straling is kleiner dan 350 nm.

13 Is de frequentie van X-straling groter of kleiner dan die van het zichtbare licht?
- **A** Groter, de energie van het X-foton is groter.
- **B** Kleiner, de energie van het X-foton is groter.
- **C** Groter, de energie van het X-foton is kleiner.
- **D** Kleiner, de energie van het X-foton is kleiner.

14 Waar ontstaat de X-straling die Röntgen ontdekte?
- **A** In het metaal in de röntgenbuis.
- **B** In de kartonnen afscherming van de röntgenbuis.
- **C** In het scherm dat in de buurt stond van de röntgenbuis.

Röntgen kreeg tijdens zijn onderzoek met de elektronenbuis soms last van een rode huid. Hij dacht dat dit veroorzaakt zou kunnen worden door de X-straling.

15 Zou de veronderstelling van Röntgen kunnen kloppen?
- **A** Ja, X-straling is ioniserende straling.
- **B** Ja, X-straling is radioactieve straling.
- **C** Nee, X-straling is ioniserende straling.
- **D** Nee, X-straling is radioactieve straling.

figuur 1

Röntgen ontdekte dat het skelet met X-straling kan worden afgebeeld. Twee weken na deze ontdekking nam Röntgen een foto van de hand van zijn vrouw. Zie figuur 1. Toen zij haar handbotjes zag, riep zij: *"Ik heb mijn overlijden gezien!"*

16 Is de halveringsdikte van zacht weefsel voor deze X-straling groter dan, even groot als, of kleiner dan van hard weefsel?
- **A** kleiner
- **B** even groot
- **C** groter

Halverwege de vorige eeuw stonden in schoenenwinkels apparaten die gebruikmaakten van X-straling waarmee je kon zien of de schoen die je aan had wel paste. Kinderen konden door hun schoen heen de voetbotjes zien bewegen. Zie figuur 2.

figuur 2

Voor de equivalente dosis (het dosisequivalent) die een kindervoet ontvangt, geldt:

$H = Q\frac{E}{m}$

Hierin is:
- H de equivalente dosis (in Sv);
- Q de weegfactor (kwaliteitsfactor);
- E de energie die de kindervoet absorbeert (in J);
- m de massa van de kindervoet (in kg).

De energie E die een kindervoet van m = 350 g per minuut absorbeerde, was bij deze machine 0,21 Joule. De weegfactor Q voor X-straling is 0,95. Een kind hield gedurende 15 s zijn of haar voet in de machine.

17 Bereken de equivalente dosis die de voet van het kind in 15 s ontving.

Radiotherapie

In de geneeskunde wordt sinds lange tijd gebruikgemaakt van ioniserende straling om tumoren te behandelen. Vroeger gebruikte men daarbij vaak de isotoop radium-226. Een kleine hoeveelheid hiervan bracht men aan op de punt van een naald die in de tumor werd gestoken.
Ra-226 zendt α- en γ-straling uit.

18 Geef de vervalvergelijking van Ra-226.

19 Hieronder staan twee beweringen.
I Het doordringend vermogen van α-straling is groter dan dat van γ-straling.
II Het ioniserend vermogen van α-straling is groter dan dat van γ-straling.
Wat is juist?
A Alleen bewering I is waar.
B Alleen bewering II is waar.
C Beide beweringen zijn waar.
D Geen van beide beweringen is waar.

In plaats van Ra-226 wordt tegenwoordig vaak de radioactieve isotoop iridium-192 gebruikt. Deze isotoop zendt β-straling uit.

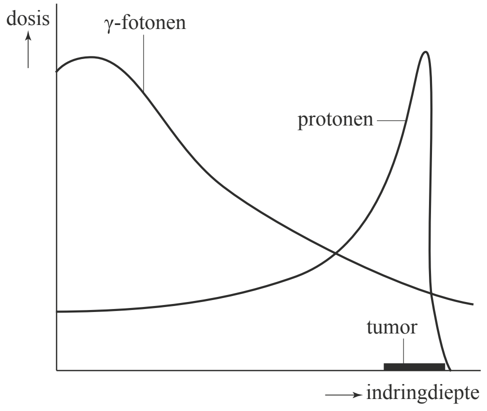
20 Hieronder staan twee beweringen.
I De massa van een β-deeltje is groter dan de massa van een α-deeltje.
II De lading van een β-deeltje is groter dan de lading van een α-deeltje.
Wat is juist?
A Alleen bewering I is waar.
B Alleen bewering II is waar.
C Beide beweringen zijn waar.
D Geen van beide beweringen is waar.

Behalve α-, β- en γ-straling wordt in de geneeskunde vaak röntgenstraling toegepast.

21 Hieronder staan twee beweringen.
I Volgens Binas is de energie van een γ-foton groter dan die van een röntgenfoton.
II Volgens Binas is de golflengte van γ-straling groter dan die van röntgenstraling.
Wat is juist?
A Alleen bewering I is waar.
B Alleen bewering II is waar.
C Beide beweringen zijn waar.
D Geen van beide beweringen is waar.

Sinds kort is een nieuwe bestralingsmethode ontwikkeld: bestraling met snelle protonen. Deze methode heeft voordelen ten opzichte van bestraling met γ-fotonen.
In figuur 1 is zowel voor γ-fotonen als protonen de (geabsorbeerde) dosis weergegeven als functie van de indringdiepte. Ook is aangegeven op welke diepte de tumor zich bevindt.
Kenmerkend voor protonen is de piek in de grafiek. De plaats waar deze piek optreedt, hangt af van de energie van de protonen.
Die energie kan men instellen.

figuur 1



22 Noem aan de hand van figuur 1 twee voordelen van bestraling met protonen ten opzichte van bestraling met γ-fotonen.

Men wil een oogtumor met een massa van 4,2 mg met protonen bestralen.
De protonenbundel die er op gericht wordt, bevat $7{,}8 \cdot 10^3$ protonen per seconde.
De energie van elk proton is 70 MeV. De protonen geven 80% van hun energie af aan het weefsel van de tumor.
De tumor moet een stralingsdosis (de geabsorbeerde energie per kg) opnemen van 60 Gy, verdeeld over 30 bestralingen.

23 Bereken hoe lang elke bestraling moet duren. Neem daarbij aan dat alle protonen de tumor treffen.

Hints bij hoofdstuk 3

1 Hoeveel protonen en hoeveel neutronen heeft ieder van die kernen?
2 Wat moet voor en na de → gelijk zijn?
3 Wat is de lading van het vrijkomende deeltje?
4 Zie Binas tabel 25A.
5 Uit wat voor deeltjes bestaat een atoomkern?
6 Zie Binas 25A, 40A of 99.
7 Waardoor kunnen we in de scan de zieke botdelen zien?
8 Wat is de definitie van de halveringstijd van een stof?
9 Bereken eerst de activiteit van de straling die moet worden geïnjecteerd.
10 Wat is de totale hoeveelheid energie die tijdens de behandeling wordt geabsorbeerd?
11 Hoeveel activiteit is er nog over na 1, na 2, na 3, ... halveringstijden?
12 Zie Binas 19B.
13 Zie Binas 19B.
14 Lees nogmaals de inleidende tekst.
15 Zendt het metaal spontaan radioactieve straling uit?
16 Hoe komt het dat we in de foto van figuur 1 het zachte weefsel niet zien?
17 Bereken eerst de energie *E* die de kindervoet in 15 s absorbeerde.
18 Wat moet links en rechts van de → gelijk zijn?
19 Kan α–straling door een stevig stuk karton gaan?
20 Uit welke deeltjes bestaat een α–deeltje?
21 Röntgen- en γ-straling zijn beiden elektromagnetische straling.
22 Bedenk dat de meeste straling op de plaats van de tumor terecht moet komen.
23 Bereken eerst hoeveel protonen er in totaal nodig zijn om de tumor te bestralen.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 3

Koolstof-14-methode

1 Zie de ingevulde tabel.

aantal protonen	aantal elektronen	aantal neutronen	massa	halveringstijd
nee	nee	ja	ja	ja

- *Alle koolstofisotopen hebben 6 protonen in de kern (zie Binas 25A).*
- *De isotopen ^{12}C, ^{13}C en ^{14}C zijn neutraal, dus ze hebben ieder 6 elektronen.*
- *Het aantal neutronen in de kern is het massagetal minus het atoomnummer (= 6). De massagetallen van de drie isotopen zijn verschillend, dus het aantal neutronen is verschillend.*
- *De massagetallen zijn verschillend, dus ook de massa's zijn verschillend.*
- *De halveringstijden van de drie isotopen zijn verschillend, doordat de kernen anders zijn samengesteld (zie ook Binas 25A).*

2 $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$

- *Het atoomnummer van C-14 is 6 (Binas 25A, 40A of 99).*
- *β^--straling bestaat uit elektronen ($^{0}_{-1}e$)*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn. De kern die bij dit verval ontstaat, heeft dus atoomnummer 6 – (–1) = 7. Volgens Binas 25A of 99 is dit het element N (stikstof).*
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn. Het massagetal van het stikstof dat ontstaat is dus 14 – 0 = 14.*

3 Bij dit proces komt een proton ($^{1}_{1}p$) vrij:

$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}p$

- *De lading van het deeltje dat vrijkomt, is (7 + 0) – 6 = 1.*
- *Het aantal nucleonen van het deeltje dat vrijkomt, is (14 + 1) – 14 = 1.*

4 De verhouding *R* van het aantal ^{14}C-kernen en het aantal ^{12}C-kernen is $\frac{1}{4}$ van zijn oorspronkelijke waarde, dus de tijd die is verstreken is precies tweemaal de halveringstijd van C-14.
Deze halveringstijd is 5730 y (Binas 25A), dus de schedel is $2 \cdot 5730 = 11460$ y oud.

Samarium-153

5 Antwoord D.
Samarium-153 heeft één nucleon meer dan samarium-152.
Het aantal protonen in samarium-153 is hetzelfde als in samarium-152.
Samarium-153 heeft dus één neutron meer dan samarium-152.
De kern van samarium-152 moet dus worden beschoten met neutronen.

©ThiemeMeulenhoff

6 ${}^{153}_{62}Sm \rightarrow {}^{153}_{63}Eu + {}^{0}_{-1}e + \gamma$

- *Samarium wordt aangegeven met Sm (Binas 40A).*
- *Het atoomnummer van Sm is 62 (Binas 40A, 25A of 99).*
- *β^--straling bestaat uit elektronen (${}^{0}_{-1}e$).*
- *Maak links en rechts van → de som van de atoomnummers gelijk: het atoomnummer van de kern die ontstaat is 62 – (–1) = 63.*
  Dat is het element Eu (Europium) (Binas 25A, 40A of 99).
- *Maak links en rechts van → de som van de massagetallen gelijk: de kern die ontstaat heeft 153 – 0 = 153 nucleonen.*

7 Antwoord D.
Samarium hecht zich beter aan ziek botweefsel dan aan gezond botweefsel. De zieke botdelen zijn in de scan als lichte vlekken te zien. De straling, uitgezonden door het samarium is dus dwars door al het weefsel van het lichaam gegaan. Er is dus voor de scan gebruik gemaakt van straling met een groot doordringend vermogen. γ-straling heeft een groot en β^--straling een kleiner doordringend vermogen.

8 Zie figuur 3.
Op 3 juni 9:00 uur is de activiteit van samarium-153: 3000 MBq
Op 5 juni 9:00 uur is de activiteit van samarium-153 gehalveerd tot 1500 MBq.
De halveringstijd van samarium-153 is dus 2,0 d.

9 De activiteit van de straling die moet worden geïnjecteerd,
bedraagt 30 · 37 MBq = 1110 MBq
Op 4 juni 9:00 uur is volgens figuur 3 de activiteit van het samarium-153: 2100 MBq
Het volume van het medicijn in het flesje is 15 mL.
Het volume V van het medicijn dat moet worden ingespoten, volgt dus uit:

$$\frac{V}{1110} = \frac{15}{2100} \Rightarrow V = \frac{15 \cdot 1110}{2100} = 7{,}9 \text{ mL}$$

10 Het aantal β^--deeltjes (N) dat door het geïnfecteerde bot wordt geabsorbeerd,
volgt uit: $N = \dfrac{E}{E_{\beta^-}}$, waarin:

E = totale hoeveelheid energie die tijdens de behandeling wordt geabsorbeerd.
Er geldt: $D = \dfrac{E}{m}$ (Binas 35E3) $\Rightarrow E = D \cdot m$, met:
D = totale ontvangen stralingsdosis = 86,5 Gy
m = massa van het geïnfecteerde bot = 10 g = $10 \cdot 10^{-3}$ kg
zodat: $E = 86{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0{,}865$ J
E_{β^-} = energie van één β^--deeltje = 233 keV = $233 \cdot 10^3 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J (Binas 5) = $= 3{,}733 \cdot 10^{-14}$ J

Invullen: $N = \dfrac{0{,}865}{3{,}733 \cdot 10^{-14}} = 2{,}3 \cdot 10^{13}$

11 Op $t = 0$ (4 juni 9:00 uur) is de activiteit A_0.
Na 1 halveringstijd is er nog een activiteit over van $\frac{1}{2} \cdot A_0$.
Na 2 halveringstijden is er nog een activiteit over van $\left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot A_0$.
Na 10 halveringstijden is er nog een activiteit over van $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} \cdot A_0 = 9{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot A_0$
In de opgevangen urine is na 10 halveringstijden dus nog een activiteit over van $9{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 100\ \% = 9{,}8 \cdot 10^{-2}$ % van de oorspronkelijke activiteit.

©ThiemeMeulenhoff

Röntgenstraling

12 D
De golflengte is veel kleiner dan die van zichtbaar licht.

13 A
Er geldt: $E = h \cdot f \Rightarrow$ E groot betekent f groot.

14 A
Röntgenstraling kan ontstaan als snelle elektronen op een stuk metaal botsen.

15 A
Doordat de fotonen veel energie hebben, kunnen ze moleculen ioniseren.

16 C
Zacht weefsel absorbeert minder straling dan hard weefsel.

17 We berekenen de equivalente dosis H die de voet in 15 s ontvangt met:
$H = Q \cdot \dfrac{E}{m}$, waarin:
Q = weegfactor. Voor X-straling = 0,95
E = energie die de kindervoet in 15 s absorbeerde
De kindervoet absorbeerde per minuut 0,21 J, dus in 15 s: $\frac{15}{60} \cdot 0{,}21 = 5{,}25 \cdot 10^{-2}$ J
m = massa van de kindervoet = 350 g = $350 \cdot 10^{-3}$ kg
Invullen: $H = 0{,}95 \cdot \dfrac{5{,}25 \cdot 10^{-2}}{350 \cdot 10^{-13}} = 0{,}14$ Sv

Radiotherapie

18 ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \gamma$

- *Radium heeft atoomnummer 88 (Binas 25A, 40A of 99).*
- *Bij dit radioactieve verval komt een α-deeltje (heliumkern) = ${}^{4}_{2}He$ vrij.*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn.*
  De kern die bij dit verval ontstaat heeft dus atoomnummer 88 – 2 = 86.
  Radon (Rn) heeft atoomnummer 86 (Binas 25A, 40A of 99).
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn.*
  Voor het massagetal A (aantal nucleonen in de kern) van de radonkern die ontstaat, geldt dus: A = 226 – 4 = 222.

19 Antwoord B.
Alfastraling (heliumkernen) heeft een groot ioniserend vermogen.
Omdat onderweg veel moleculen geïoniseerd worden, verliezen de α-deeltjes veel kinetische energie, waardoor het doordringend vermogen klein is.

20 Antwoord D.
Een β-deeltje is een elektron en een α-deeltje is een heliumkern.
De massa van een elektron is veel kleiner dan de massa van een α-deeltje dat uit 2 protonen en 2 neutronen bestaat.
De lading van een elektron is –e en die van een α-deeltje +2e.

21 Antwoord A.
Zie Binas 19B, de kolommen 1 en 3.

©ThiemeMeulenhoff

22 Bij bestraling met protonen ontvangt het gebied vóór de tumor een lagere dosis dan bij bestraling met γ-fotonen, waardoor in dit gebied minder schade wordt toegebracht.
Bij bestraling met protonen ontvangt het gebied achter de tumor geen dosis, terwijl dat gebied bij bestraling met γ-fotonen nog steeds een zekere dosis ontvangt, waardoor schade wordt toegebracht.

23 De tijdsduur t van elk van de 30 bestralingen volgt uit: $t = \frac{t_{tot}}{30}$, waarin:

t_{tot} = tijd die nodig is om de totale bestralingsenergie E_{tot} te leveren.

Er geldt: $t_{tot} = \frac{N_{tot}}{N_{per\,sec}}$, waarin:

N_{tot} = aantal protonen dat nodig is om de tumor te bestralen

Er geldt: $N_{tot} = \frac{E_{tot}}{E_{afg,\,proton}}$, waarin:

E_{tot} = totale benodigde hoeveelheid energie = $2{,}52 \cdot 10^{-4}$ J

Er geldt: $D = \frac{E_{tot}}{m} \Rightarrow E_{tot} = D \cdot m$, waarin:

D = benodigde stralingsdosis = 60 Gy

m = massa van de oogtumor = 4,2 mg = $4{,}2 \cdot 10^{-6}$ kg

zodat: $E_{tot} = 60 \cdot 4{,}2 \cdot 10^{-6} = 2{,}52 \cdot 10^{-4}$ J

$E_{afg,\,proton}$ = energie die één proton afgeeft = $0{,}80 \cdot 70$ MeV = $= 0{,}80 \cdot 70 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J $= 8{,}97 \cdot 10^{-12}$ J (Binas 5)

zodat: $N_{tot} = \frac{2{,}52 \cdot 10^{-4}}{8{,}97 \cdot 10^{-12}} = 2{,}81 \cdot 10^{7}$

$N_{per\,sec}$ = aantal protonen in de bundel per seconde = $7{,}8 \cdot 10^{3}$

zodat: $t_{tot} = \frac{2{,}81 \cdot 10^{7}}{7{,}8 \cdot 10^{3}} = 3{,}60 \cdot 10^{3}$ s

Invullen: $t = \frac{3{,}60 \cdot 10^{3}}{30} = 1{,}2 \cdot 10^{2}$ s

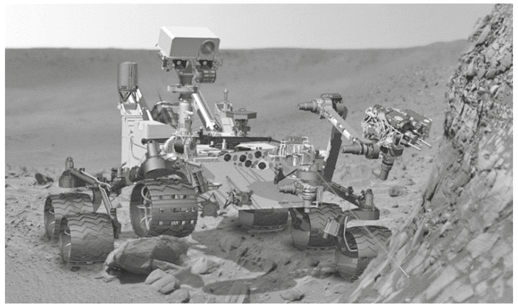
©ThiemeMeulenhoff

4 Kracht en beweging

Curiosity

Op 26 november 2011 werd, vanaf Cape Canaveral in Florida, een raket naar Mars gelanceerd. Aan boord van de raket bevond zich de Curiosity, (zie figuur 1) die gegevens moest verzamelen over de omstandigheden op Mars, over de geschiedenis van de planeet en over een mogelijke bemande ruimtevlucht naar Mars. Na een reis van 567 miljoen kilometer in 255 dagen landde de Curiosity in 2012 op Mars.

figuur 1



1 Bereken de gemiddelde snelheid tijdens deze ruimtereis in m s^{-1}.

Bij de landing werd een nieuwe techniek gebruikt: een vliegende ‘kraan’ bleef 7 meter boven het Marsoppervlak hangen, terwijl de Curiosity voorzichtig met een constante snelheid naar beneden werd getakeld. Zie figuur 2.
De massa van de kraan en het voertuig samen is $3{,}6 \cdot 10^{3}$ kg.

figuur 2

2 Bereken de zwaartekracht die tijdens de landing op het geheel werkt.

Uit de vier openingen van de kraan stroomden verbrandingsgassen die de kraan op constante hoogte hielden.
De vier uitstroomopeningen staan een beetje schuin.
In figuur 2 is de stuwkracht getekend die de gassen uit opening A op de kraan uitoefenen. De stuwkrachten van de gassen bij de overige openingen zijn even groot als de stuwkracht bij A en zijn ook schuin omhoog gericht.
Vergelijk in figuur 2 de stuwkracht bij A met de zwaartekracht op het geheel.

3 Welke bewering is juist?

A $F_{stuw} = F_z$

B $F_{stuw} = \frac{1}{4} F_z$

C $F_{stuw} < \frac{1}{4} F_z$

D $F_{stuw} > \frac{1}{4} F_z$

©ThiemeMeulenhoff

Trein in het web

figuur 1

In de film Spiderman 2 stopt de held Spiderman een op hol geslagen trein met behulp van draden gesponnen uit spinrag. Zie figuur 1.
Engelse natuurkundestudenten van de Universiteit van Leicester hebben berekend of het spinrag van een gewone spin hiervoor sterk genoeg is. In deze opgave gaan we deze berekening in stappen na.

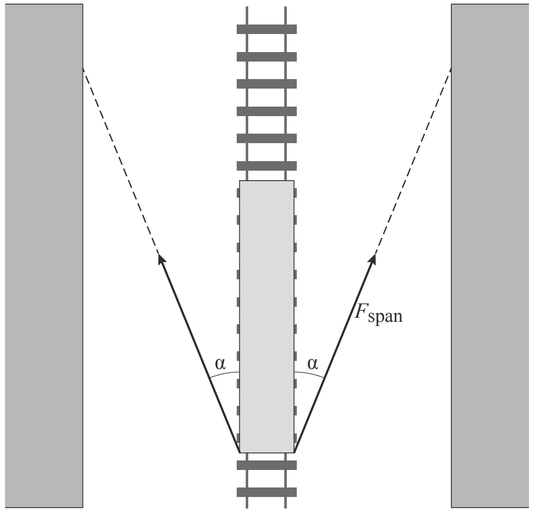
De studenten veronderstelden dat een trein zonder spinnendraden eenparig vertraagd tot stilstand komt.
De trein in de film heeft een beginsnelheid van 25 $m\,s^{-1}$ en wordt in 50 s tot stilstand gebracht. De massa van de trein met inzittenden is $2{,}0 \cdot 10^5$ kg.

4 Bereken de remafstand van de trein.

5 Bereken de resulterende kracht die nodig is om de trein af te remmen.

In de film gebruikt Spiderman draden van spinrag die hij links en rechts van de trein aan de gebouwen vast schiet. De eerste draden die Spiderman aan de gebouwen bevestigd heeft, maken een hoek α met de trein. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 2

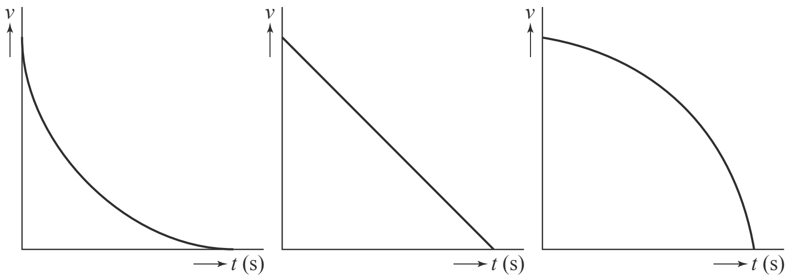


Tijdens het afremmen verandert hoek α en worden de draden langer.
De resulterende kracht F op de trein wordt hierdoor groter.

6 Leg uit waarom de resulterende kracht F groter wordt bij remmen als:
- hoek α verandert,
- de draden (elastisch) langer worden.

De snelheid van de trein zal niet eenparig afnemen omdat de resulterende kracht groter wordt. In figuur 3 staan drie (v,t)-grafieken.

figuur 3a 3b 3c



7 Leg uit welke grafiek het snelheidsverloop van de trein tijdens het afremmen het beste weergeeft.

Rijst

Op het platteland van sommige Zuid-Aziatische landen worden af en toe nog draagstokken gebruikt voor transport. Zie figuur 1.

figuur 1

Een vrouw draagt met zo’n draagstok twee manden: in de linker mand zit een klein kindje, in de rechtermand liggen rijstplanten. De massa van de linkermand en het kindje samen is 15 kg.

8 Bepaal de massa van de mand met rijstplanten met behulp van figuur 1. Verwaarloos de kracht die de vrouw met haar rechterhand op de draagstok uitoefent.

In werkelijkheid oefent de vrouw een kleine kracht op de draagstok uit, verticaal omlaag.

9 Beredeneer of de in vraag 8 bepaalde massa van de mand met rijstplanten hierdoor groter of kleiner moet zijn.

Voor het stampen van de rijstplanten wordt een stevige houten stok gebruikt die steeds wordt opgetild, daarna wordt losgelaten, en dan omlaag valt. Zie figuur 2.

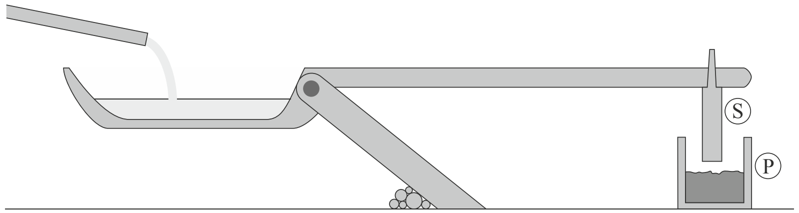
figuur 2

Een dorpsgenote van de vrouwen heeft een automatische rijststamper uitgevonden, zie figuur 3. Bij P staat een pot waar de rijst in zit. Aan de linkerkant loopt een bakje vol met water. Als het bakje vol is, gaat de stellage kantelen, waardoor de stamper S omhoog gaat.
Als het bakje links leeg is, kantelt de stellage terug en komt de stamper met een klap op de rijst in de pot terecht.
Na een tijdje is het bakje weer vol met water en kantelt de stellage opnieuw.

figuur 3

In figuur 4 is een schematische tekening van de rijststamper te zien.

figuur 4



Voor een goede werking van de rijststamper is de frequentie waarmee de stamper op de rijst terecht komt belangrijk.
In de tabel op de uitwerkbijlage staan enkele wijzigingen die de ontwerpster zou kunnen aanbrengen om de frequentie aan te passen.

10 Geef in deze tabel op de uitwerkbijlage aan of de frequentie (*f*) van de stamper afneemt, gelijk blijft, of toeneemt bij de voorgestelde wijzigingen in het ontwerp.

uitwerkbijlage bij vraag 10

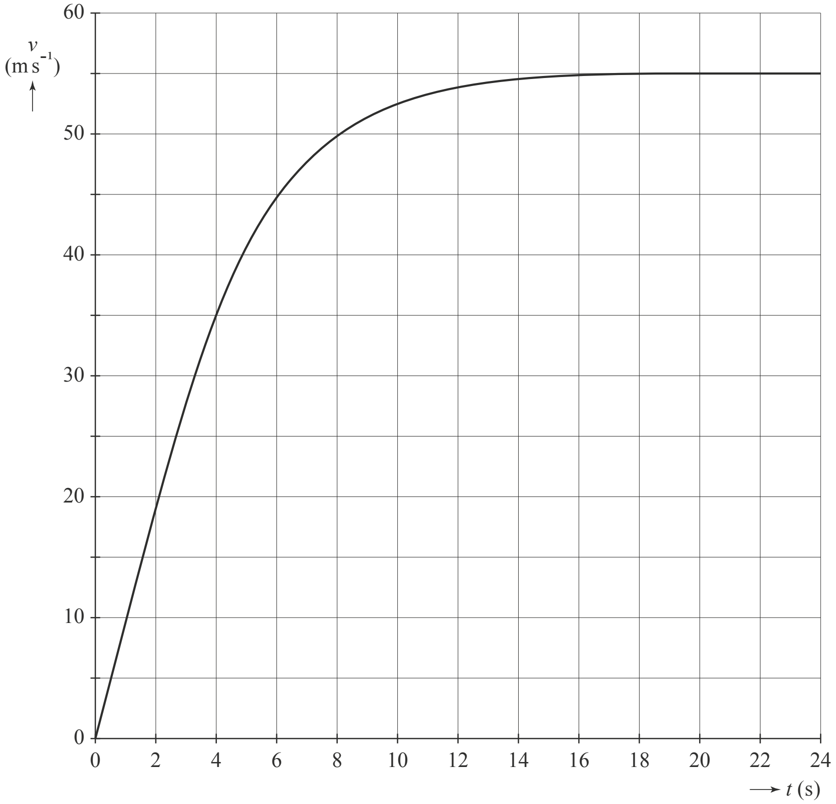
wijziging	*f* neemt af	*f* blijft gelijk	*f* neemt toe
hefboom aan de rechterkant langer maken			
meer water per seconde toevoeren			
zwaardere stamper			

Skydiven

Skydiven is een sport waarbij men uit een vliegtuig springt en een groot deel van de tijd naar de aarde valt zonder de parachute te openen.
Na enige tijd is de snelheid van de skydiver constant. Figuur 1 is het (*v*,*t*)-diagram van het begin van zo'n sprong.
In de eerste twee seconden is de luchtweerstand vrijwel te verwaarlozen.

11 Toon dat aan. Bepaal daartoe eerst in figuur 1 zo nauwkeurig mogelijk, de versnelling in die periode.

figuur 1



Tussen t = 0 s en t = 20 s valt de skydiver over een afstand van 0,9 km.

12 Toon dit met behulp van figuur 1 aan.

De skydiver sprong op een hoogte van 3,0 km uit het vliegtuig. Op een hoogte van 0,8 km opent hij zijn parachute.

13 Bepaal de tijd tussen het verlaten van het vliegtuig en het openen van de parachute.

Op de website van Indoor Skydive te Roosendaal staat de volgende tekst:

Mensen hebben altijd al op eigen kracht willen vliegen. Bij Indoor Skydive in Roosendaal kan dat! Hier beleef je het unieke gevoel van vrijheid van de skydiver die uit een vliegtuig is gesprongen.

©ThiemeMeulenhoff

In een grote schacht met glazen wanden wordt lucht met hoge snelheid omhoog geblazen. Als je in deze windtunnel horizontaal op de luchtstroom gaat 'liggen' (zie figuur 2), kun je blijven zweven.
In de windtunnel wordt de lucht met een snelheid van 55 m s^{-1} omhoog geblazen. De windtunnel heeft een cirkelvormige doorsnede met een oppervlakte van 14,5 m^2.

14 Bereken hoeveel m^3 lucht er per seconde door de windtunnel wordt geblazen.

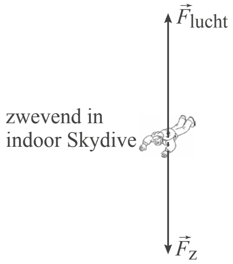
figuur 2

bron: Indoor Skydive, te Roosendaal

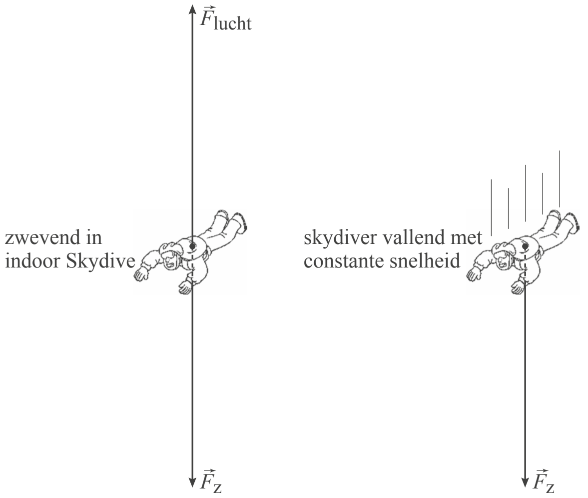
Bij zweven heffen de kracht van de omhoog stromende lucht en de zwaartekracht elkaar op (zie figuur 3).
In figuur 4 is ook een andere skydiver getekend die uit een vliegtuig is gesprongen en met constante snelheid verticaal naar beneden valt.

15 Teken in figuur 4 de vector van de luchtweerstand voor deze situatie. Let daarbij op de richting en de lengte van de vector. Licht je tekening toe.

figuur 3



figuur 4



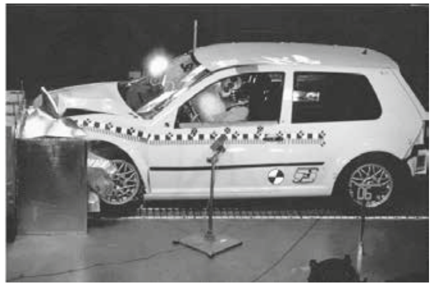
Karel zweeft in de windtunnel van Indoor Skydive. De kracht die de luchtstroom op hem uitoefent, is recht evenredig met zijn frontale oppervlakte. Zijn massa, inclusief windpak en helm, is 82 kg.
In zwevende positie strekt Karel zijn armen en benen uit, waardoor zijn frontale oppervlakte met 10% toeneemt. Hij schiet op dat moment omhoog omdat er dan wel een resulterende kracht op hem werkt.

16 Bereken de grootte van deze resulterende kracht.

©ThiemeMeulenhoff

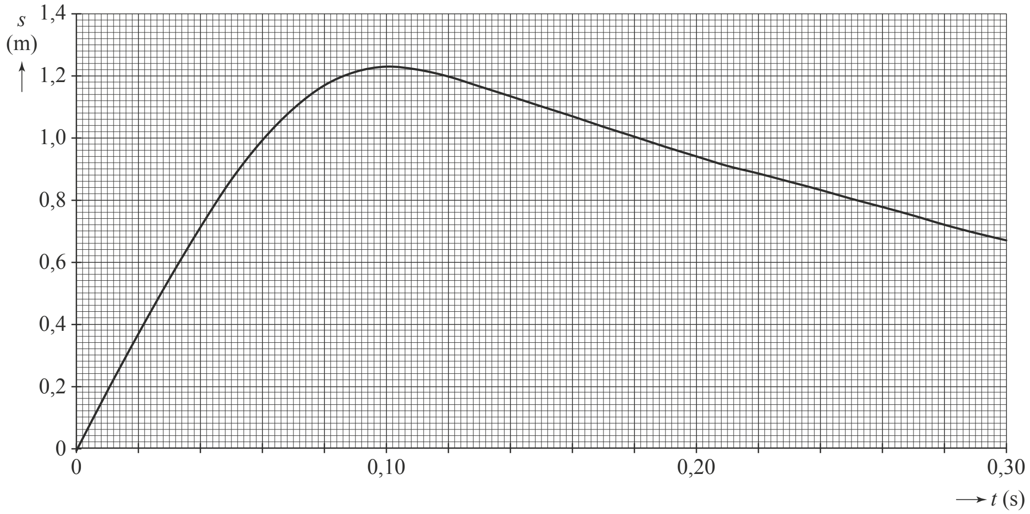
Botsproef

In een botsproef wordt de veiligheid van een auto getest door deze auto op een muur te laten botsen. De auto wordt daarbij van diverse kanten gefilmd. Met behulp van videometen kan dan een (s,t)-diagram gemaakt worden van een gemarkeerd punt ◐ op de auto. Op de uitwerkbijlage is het (s,t)-diagram gegeven van een bepaalde botsproef.



17 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de maximale snelheid van de auto tijdens deze botsproef.

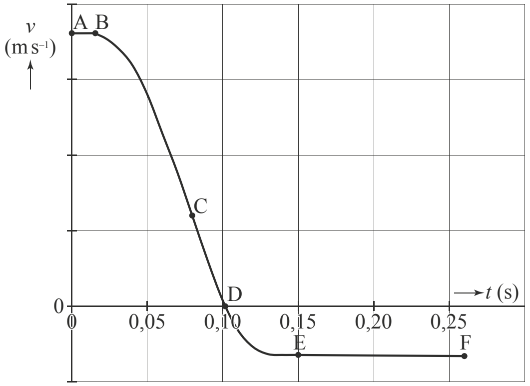
uitwerkbijlage bij vraag 17



In figuur 1 is een schets van het (v,t)-diagram van de botsende auto gegeven. In dit diagram zijn zes punten, A tot en met F, met een stip aangegeven.

18 Leg uit op welk punt (A, B, C, D, E of F)
- de auto in aanraking komt met de muur,
- de auto de maximale vertraging ondergaat,
- de auto stopt met indeuken.

figuur 1

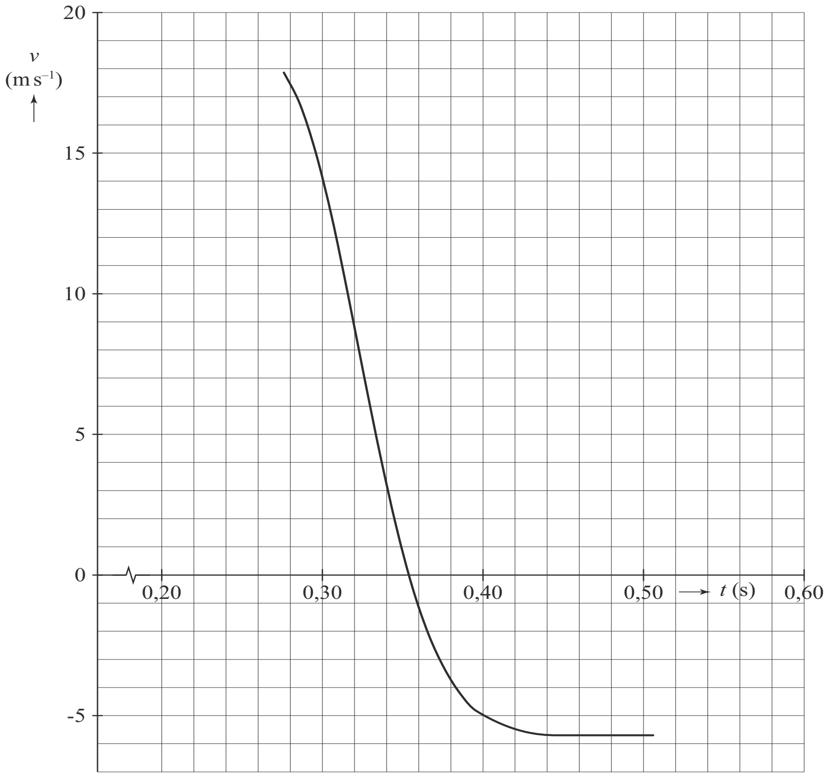


©ThiemeMeulenhoff

Er is ook een videometing gemaakt van het hoofd van de pop in de auto.
Het (v,t)-diagram van die meting is op de uitwerkbijlage gegeven.
Volgens wettelijke richtlijnen mag de vertraging van een hoofd nooit groter zijn dan $60g$, waarbij $g = 9{,}81\ \text{m s}^{-2}$.

19 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage of aan de wettelijke richtlijnen voor de vertraging van een hoofd is voldaan.

uitwerkbijlage bij vraag 19



©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 4

1 Zie Binas tabel 35A1.
2 Zie voor de gravitatieversnelling aan het oppervlak van Mars: Binas tabel 31.
3 Kan de zwaartekracht de horizontale component van de stuwkracht opheffen?
4 Bereken eerst de gemiddelde snelheid van de trein.
5 Bereken de versnelling die de trein ondervindt.
6 – Wordt de hoek α tijdens het remmen groter of kleiner?
– De veerkracht in een draad is recht evenredig met de uitrekking.
7 Wordt de vertraging tijdens het remmen groter, kleiner of blijft deze gelijk?
8 Gebruik de hefboomwet.
9 Wat is de draairichting van het moment dat veroorzaakt wordt door de extra kracht?
10 Als het kantelen langer duurt, neemt de frequentie af.
11 Hoe bepaal je de versnelling uit een (v,t)-diagram?
12 Hoe bepaal je de afgelegde weg uit een (v,t)-diagram?
13 Hoeveel meter valt de skydiver nog met constante snelheid na de eerste 20 s?
14 Over welke afstand verplaatst de lucht zich in 1,0 s?
15 Wat weet je van de resulterende kracht als de snelheid constant is?
16 Bereken eerst de zwaartekracht die Karel ondervindt.
17 Hoe vind je de snelheid v uit een (s,t)-diagram?
18 Waarmee komt de helling van de grafiek overeen?
19 Wanneer is de vertraging maximaal?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 4

Curiosity

1 De gemiddelde snelheid v_{gem} volgt uit: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (Binas 35A1), waarin:
Δx = reisafstand = 567 miljoen km = $567 \cdot 10^6$ km = $567 \cdot 10^9$ m
Δt = reisduur = 255 d = $255 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s = $2{,}203 \cdot 10^7$ s
Invullen: $v_{gem} = \frac{567 \cdot 10^9}{2{,}203 \cdot 10^7} = 2{,}57 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$

2 De zwaartekracht F_z die tijdens de landing op het geheel werkt, volgt uit:
$F_z = m \cdot g_{Mars}$ (Binas 35A3), waarin:
m = massa van de kraan en het voertuig samen = $3{,}6 \cdot 10^3$ kg
g_{Mars} = gravitatieversnelling aan het oppervlak van Mars = $3{,}7\ \text{m s}^{-2}$ (Binas 31)
Invullen: $F_z = 3{,}6 \cdot 10^3 \cdot 3{,}7 = 1{,}3 \cdot 10^4$ N

3 Bewering D is juist.
De verticale component van de stuwkracht bij A is gelijk aan $\frac{1}{4}F_z$. Aangezien de schuin omhoog gerichte stuwkracht ook nog een horizontale component moet hebben, zal de totale stuwkracht dus groter zijn dan $\frac{1}{4}F_z$.

Trein in het web

4 De remafstand Δx van de trein berekenen we met:
$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v_{gem} \cdot \Delta t$ (Binas 35A1), waarin:
v_{gem} = gemiddelde snelheid van de trein = $\frac{0 + 25}{2} = 12{,}5\ \text{m s}^{-1}$
Δt = tijdsduur waarin de trein tot stilstand komt = 50 s
Invullen: $\Delta x = 12{,}5 \cdot 50 = 6{,}3 \cdot 10^2$ m

5 Voor de resulterende kracht F_{res}, die nodig is om de trein af te remmen, geldt:
$F_{res} = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A3 en 35A1), waarin:
m = massa van de trein met inzittenden = $2{,}0 \cdot 10^5$ kg
a = versnelling van de trein
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 0 - 25 = -25\ \text{m s}^{-1}$
Δt = tijdsduur waarin de trein tot stilstand komt = 50 s
Invullen: $F_{res} = 2{,}0 \cdot 10^5 \cdot \frac{-25}{50} = -1{,}0 \cdot 10^5$ N

6 – Tijdens het remmen wordt de hoek α kleiner. Daardoor wordt de component van de spankracht in de bewegingsrichting van de trein groter, waardoor de resulterende kracht op de trein groter wordt.
– De veerkracht (= spankracht F_{span}) in de draden is, in ieder geval in het begin zolang de draden elastisch rekken, recht evenredig met de uitrekking u van de draden: $F_{span} = C \cdot u$ (Binas 35A3; C = veerconstante). Als tijdens het remmen de draden langer worden, zal u toenemen, waardoor F_{span} groter wordt en de resulterende kracht op de trein dus ook groter wordt.

©ThiemeMeulenhoff

7 Gedurende het remmen wordt de resulterende kracht F_{res} op de trein steeds groter (zie antwoord op de vorige vraag), waardoor de vertraging a van de trein ook steeds groter wordt ($a = \frac{F}{m}$, Binas 35A3).
De snelheid v van de trein zal dus tijdens het remmen steeds sterker afnemen.
Dat is alleen het geval in figuur 3c.

Rijst

8 De draagstok is in evenwicht, dus geldt de hefboomwet.
Het draaipunt van de draagstok bevindt zich op de rechterschouder van de vrouw.
De massa m_2 van de mand met rijstplanten volgt uit:
$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ (Binas 35A7) $\Rightarrow$ $m_1 \cdot g \cdot r_1 = m_2 \cdot g \cdot r_2$ (Binas 35A3) $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$ $\Rightarrow$ $m_2 = \frac{r_1}{r_2} \cdot m_1$, waarin:
F_1 = gewicht van de linker mand en het kindje samen
r_1 = arm van F_1 = 1,4 cm (opgemeten in figuur 1)
F_2 = gewicht van de rechter mand met rijstplanten
r_2 = arm van F_2 = 2,3 cm (opgemeten in figuur 1)
m_1 = massa van de linker mand en het kindje samen = 15 kg
g = valversnelling
Invullen: $m_2 = \frac{1{,}4}{2{,}3} \cdot 15 = 9{,}1$ kg

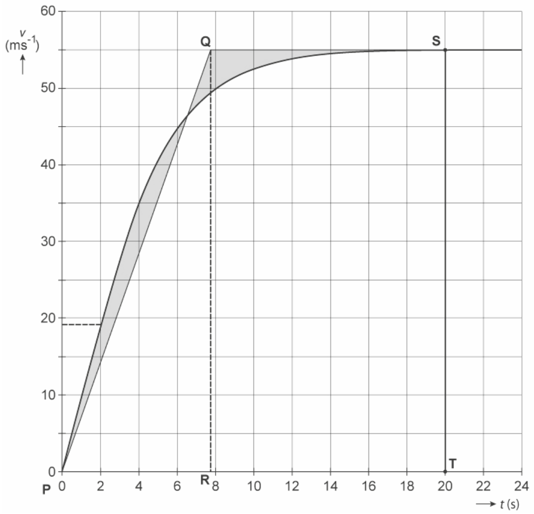
9 De vrouw oefent met haar rechter hand een extra kracht omlaag uit op de draagstok. Die kracht geeft de draagstok een extra moment linksom. De draagstok is in evenwicht, dus dit extra moment wordt gecompenseerd door een moment rechtsom (hefboom-wet). De massa m_2 van de mand met rijstplanten is dus groter dan berekend is in de vorige vraag.

10 Zie de ingevulde uitwerkbijlage.
- *Als de hefboom aan de rechterkant langer wordt gemaakt, wordt het moment rechtsom groter. Er is dus meer water nodig (en ook meer tijd) om de stellage linksom te laten kantelen. De frequentie neemt dus af.*
- *Als er meer water per seconde wordt toegevoerd, is het bakje met water eerder vol, zodat de stellage eerder linksom kantelt. De frequentie neemt dus toe.*
- *Als er een zwaardere stamper wordt gebruikt, wordt het moment rechtsom groter, waardoor er meer water nodig is (en dus ook meer tijd) om de stellage linksom te laten kantelen. De frequentie neemt dus af.*

wijziging	*f* neemt af	*f* blijft gelijk	*f* neemt toe
hefboom aan de rechterkant langer maken	X		
meer water per seconde toevoeren			X
zwaardere stamper	X		

Skydiven

11 Zie tekening 1 (de ingetekende figuur 1).
We vinden de versnelling a gedurende de eerste twee seconden uit:
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A1), waarin:
Δv = snelheidstoename = 19 m s^{-1} (afgelezen in tekening 1)
Δt = 2,0 s (afgelezen in tekening 1)
Invullen: $a = \frac{19}{2{,}0} = 9{,}5$ m s^{-2}
Deze versnelling is bijna gelijk aan de valversnelling g (= 9,81 m s^{-2}; Binas 7A).
In de eerste twee seconden is de luchtwrijving dus inderdaad vrijwel te verwaarlozen.

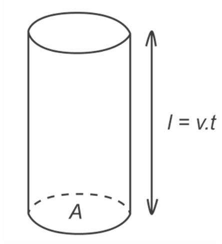


tekening 1

12 De afstand s die de skydiver valt van t = 0 s tot t = 20 s, is in het (v,t)-diagram van tekening 1 de oppervlakte onder de grafiek in die tijd.
methode 1 (oppervlakte bepalen met behulp van een hulplijn; zie tekening 1)
Voor de oppervlakte A onder de grafiek geldt: $s = A = A_1 + A_2$, waarin:
A_1 = oppervlakte van driehoek PQR = $\frac{1}{2} \cdot 7{,}6 \cdot 55 = 2{,}1 \cdot 10^2$ m
A_2 = oppervlakte van rechthoek QSTR = $(20 - 7{,}6) \cdot 55 = 12{,}4 \cdot 55 = 6{,}8 \cdot 10^2$ m
Invullen: $s = A_1 + A_2 = 2{,}1 \cdot 10^2 + 6{,}8 \cdot 10^2 = 8{,}9 \cdot 10^2$ m = 0,9 km
methode 2 (hokjes tellen)
Het aantal hokjes in het gebied onder de grafiek is ongeveer 89.
De oppervlakte A van één hokje is 5,0 m s^{-1} · 2,0 s = 10 m $\Rightarrow$
$\Rightarrow$ $s = 89 \cdot A = 89 \cdot 10 = 8{,}9 \cdot 10^2$ m = 0,9 km

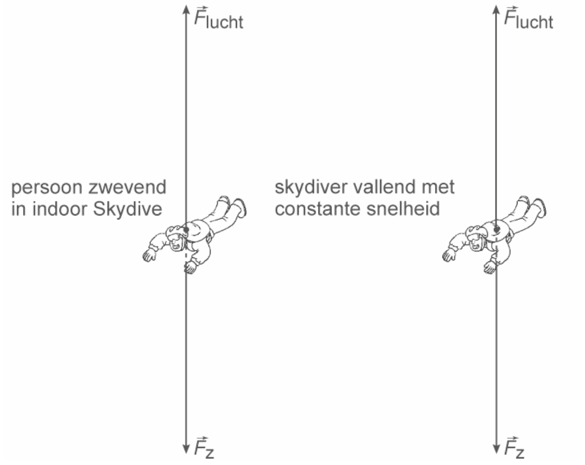
13 De tijd t die de skydiver erover doet om van 3,0 km hoogte te vallen naar 0,8 km, berekenen we met: $t = t_1 + t_2$, waarin:
t_1 = 20 s
Dit is de tijd die hij doet over het eerste stuk, waarin hij 0,9 km valt.
Zijn snelheid aan het eind van dat eerste stuk is 55 m s^{-1} (zie tekening 1) en die snelheid houdt hij, totdat hij zijn parachute opent.
t_2 = tijd die hij valt van (3,0 km – 0,9 km) tot op de hoogte van 0,8 km.
Er geldt: $t_2 = \frac{\Delta h}{v}$ (Binas 35A1), waarin:
Δh = valhoogte van (3,0 km – 0,9 km) tot op de hoogte van 0,8 km = = 2,1 km – 0,8 km = 1,3 km = $1{,}3 \cdot 10^3$ m
v = snelheid na 20 s tot op het moment dat hij zijn parachute opent = 55 m s^{-1}
zodat: $t_2 = \frac{1{,}3 \cdot 10^3}{55} = 23{,}6$ s
Invullen: $t = 20 + 23{,}6 = 44$ s

14 Zie tekening 2.
Het volume V van de lucht die per seconde door de schacht wordt geblazen volgt uit: $V = A \cdot \ell = A \cdot v \cdot t$, waarin:
A = oppervlakte van de doorsnede van de schacht = 14,5 m^2
ℓ = afstand die de lucht in 1,0 s aflegt
v = snelheid van de lucht = 55 m s^{-1}
t = 1,0 s
Invullen: $V = 14{,}5 \cdot 55 \cdot 1{,}0 = 8{,}0 \cdot 10^2$ m^3



tekening 2

15 Zie tekening 3 (de ingetekende figuur 4).
In beide situaties heffen de kracht van de lucht $\vec{F}_{lucht}$ en de zwaartekracht $\vec{F}_z$ elkaar op, omdat de skydiver in rust is of eenparig beweegt.
De versnelling a van de skydiver is dus nul en dus is de resulterende kracht F_{res} ook nul ($F_{res} = m \cdot a$; Binas 35A3).

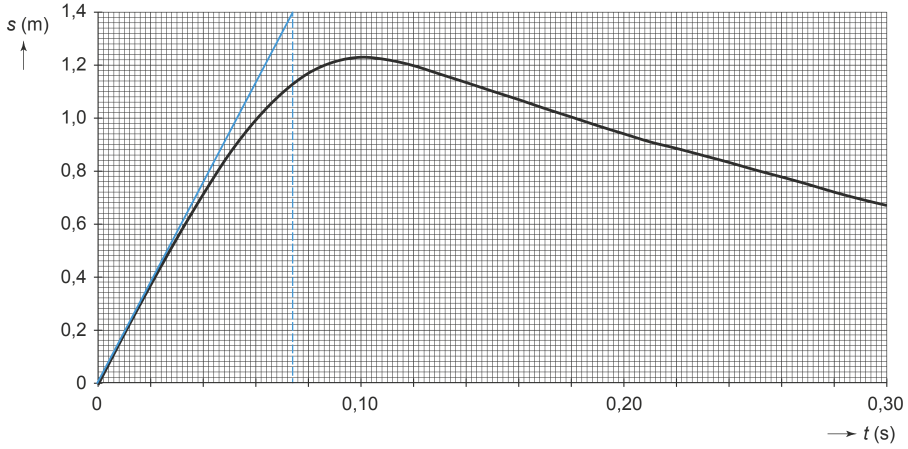


tekening 3

16 De resulterende kracht F_{res}, die ontstaat doordat Karel zijn armen en benen uitspreidt, is gelijk aan de toename van de kracht F_{lucht}, die de lucht op Karel uitoefent.
In zwevende toestand heffen F_{lucht} en de zwaartekracht F_z elkaar op en dus geldt:
$F_{lucht} = F_z = m \cdot g$ (Binas 35A3), waarin:
m = massa van Karel met windpak en helm = 82 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F_{lucht} = 82 \cdot 9{,}81$ N = 804 N
Als Karel armen en benen uitstrekt wordt zijn oppervlakte 10% groter en dus wordt F_{lucht} ook 10% groter $\Rightarrow$ F_{lucht} neemt met $0{,}10 \cdot 804$ N = 80 N toe $\Rightarrow$ F_{res} = 80 N.

Botsproef

17 Zie tekening 1.



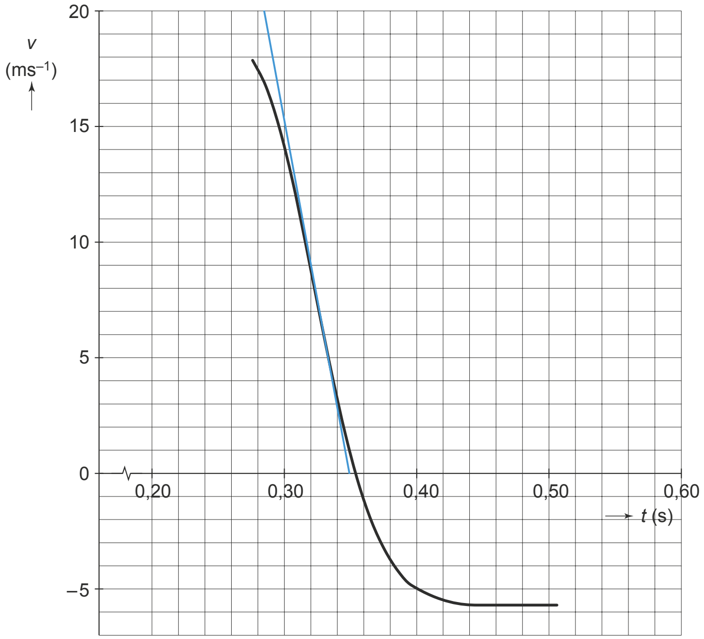
tekening 1

De snelheid van de auto op een bepaald tijdstip is de grootte van de helling van de raaklijn aan de grafiek in het (s,t)-diagram op dat tijdstip.
Op $t = 0$ is de helling van de raaklijn aan de grafiek zo steil mogelijk. De maximale snelheid v van de auto is dus:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1{,}4}{0{,}074} = 19 \text{ m s}^{-1}$$

18
- De auto komt in aanraking met de muur in het punt B, want daar begint de snelheid van de auto af te nemen.
- De auto ondergaat de maximale vertraging in het punt C, want daar loopt de raaklijn aan de grafiek in het (v,t)-diagram het steilst.
  De versnelling op een bepaald tijdstip is de grootte van de helling van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t)-diagram op dat tijdstip.
- De auto stopt met indeuken in het punt D, want daar is de snelheid 0.

19 Zie tekening 2.



tekening 2

De vertraging van het hoofd van de pop op een bepaald tijdstip is de helling van de raaklijn aan de grafiek in het (*v*,*t*)-diagram op dat tijdstip. De vertraging is maximaal op het moment dat de grafiek het steilst is.
Voor de maximale vertraging *a* geldt dus:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 0}{0{,}35 - 0{,}285} = \frac{20}{0{,}065} = 308 \text{ m s}^{-2} = \frac{308}{9{,}81} \cdot g = 31 \cdot g$$

De vertraging voldoet dus aan de wettelijke richtlijnen.

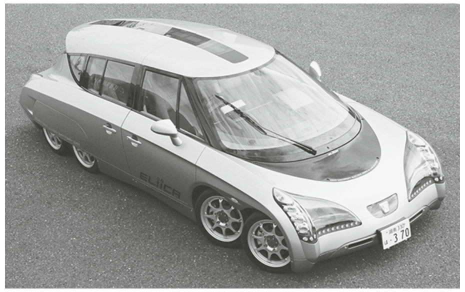
©ThiemeMeulenhoff

5 Energieomzettingen

Eliica

De Eliica (figuur 1) is een supersnelle elektrische auto. Hij heeft acht wielen en elk wiel wordt aangedreven door een elektromotor.
In de accu's kan in totaal 55 kWh elektrische energie worden opgeslagen.

figuur 1



Het gemiddelde energieverbruik van de Eliica is 0,17 kWh km^{-1}.
De actieradius van een elektrische auto is de afstand die hij met volle accu's kan afleggen bij gemiddeld energieverbruik.

1 Bereken de actieradius van de Eliica.

De topsnelheid van de Eliica is 190 km h^{-1}. Bij die snelheid worden de wielen aangedreven met een nuttig vermogen van in totaal 92 kW.

2 Bereken de grootte van de wrijvingskracht die de Eliica bij topsnelheid ondervindt.

Bij topsnelheid verbruikt de auto (veel) meer energie dan gemiddeld.
Het rendement van de elektromotoren van de Eliica bij topsnelheid is 79%.

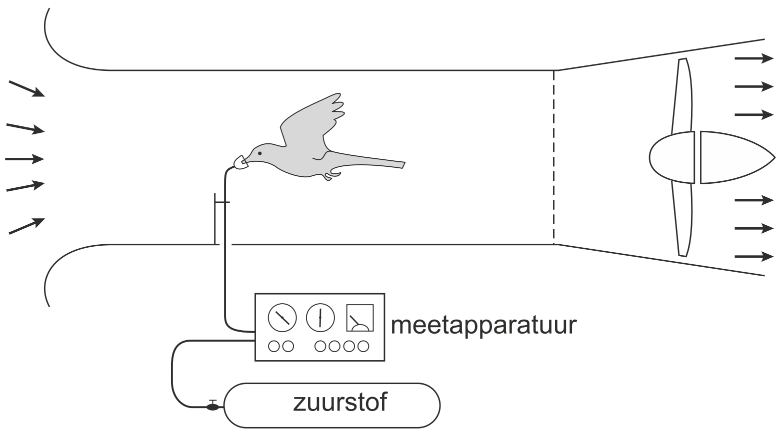
3 Bereken het energieverbruik per km (in kWh km^{-1}) van de Eliica bij topsnelheid.

©ThiemeMeulenhoff

Parkietje van Tucker

Professor Tucker bestudeert al jaren het vliegen van vogels. Hij slaagde er in om een parkiet te leren vliegen in een windtunnel. Zie figuur 1. Als het vogeltje al vliegend op zijn plaats blijft, is zijn snelheid dus even groot als die van de lucht in de windtunnel. Door de parkiet een zuurstofmasker op te zetten, kon hij bovendien zijn energieverbruik bepalen.

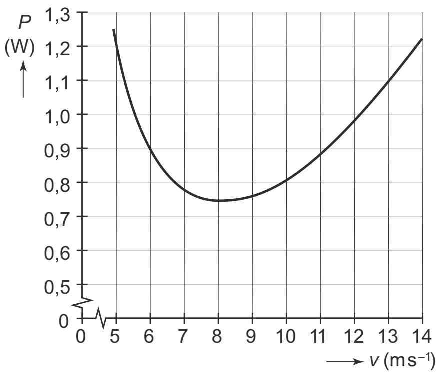
figuur 1



Bij verschillende snelheden bepaalde Tucker het vermogen dat het vogeltje voor het vliegen moest leveren (het vliegvermogen *P*). Zie de grafiek in figuur 2.
Tijdens één van deze metingen stond de windsnelheid in de tunnel ingesteld op 8,0 m s^{-1}.
Uit het zuurstofverbruik bleek dat de parkiet daarbij in totaal 60 J energie had verbruikt.
Van de energie die de parkiet verbruikt, is 25% nodig voor het vliegen.

4 Bepaal de ‘afstand’ die de parkiet bij deze meting heeft afgelegd.

figuur 2

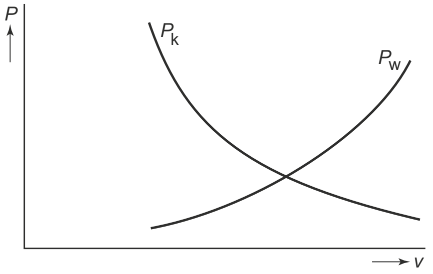


In figuur 2 valt op dat vogels bij lage snelheden een groot vermogen moeten leveren. Om dat te begrijpen is figuur 3 getekend. Daarin is te zien dat het vliegvermogen bestaat uit:

- het vermogen P_w nodig om de wrijvingskracht te overwinnen,
- het vermogen dat is aangeduid met P_k.

Het vermogen P_k is uniek voor vogels; lopende dieren hebben alleen met P_w te maken.

figuur 3



5 Beantwoord de volgende vragen:

- Leg uit waarom P_w een stijgende functie is.
- Leg uit waarom vogels het vermogen P_k moeten leveren en lopende dieren niet.

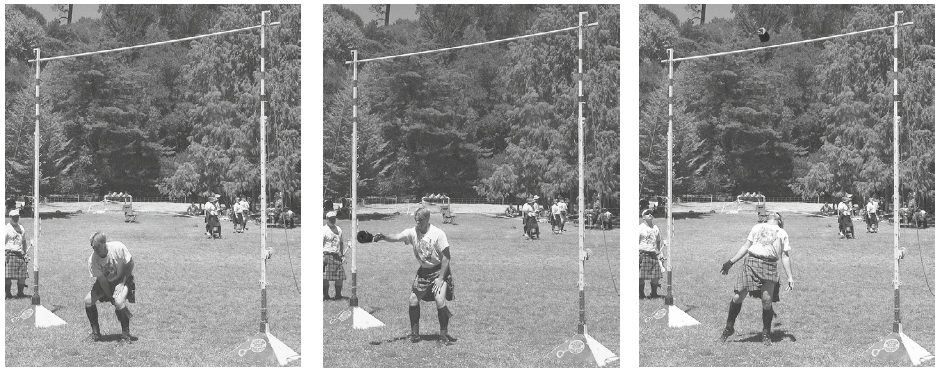
Wanneer vogels grote afstanden moeten afleggen, vliegen ze met een snelheid (de zogenaamde kruissnelheid) waarbij de arbeid die ze **per meter** verrichten zo klein mogelijk is.
Bij een snelheid van 10 m s^{-1} is de arbeid die de parkiet per meter verricht kleiner dan bij een snelheid van 8,0 m s^{-1}.

6 Toon dat aan met behulp van figuur 2 en een berekening.

Highland Games

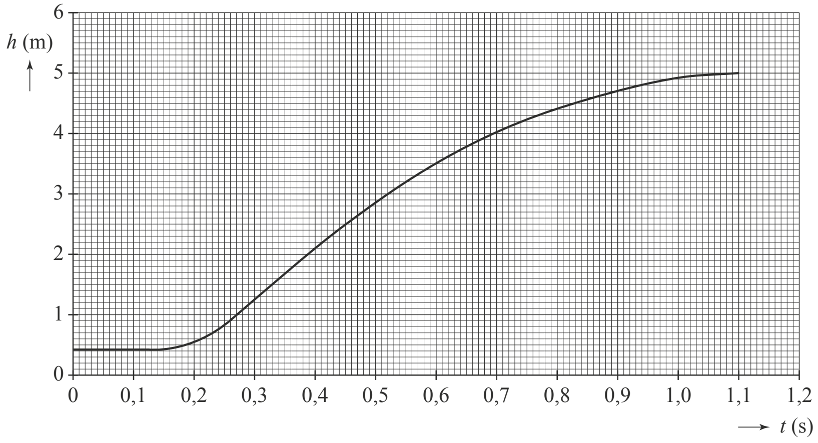
In deze opgave mogen alle vormen van wrijving worden verwaarloosd.

Op de foto’s is te zien hoe een deelnemer aan de Schotse Highland Games met gestrekte arm een blok met een massa van 25 kg over een lat gooit. Het gewicht beweegt na het loslaten (vrijwel) verticaal omhoog en omlaag.



Met behulp van videometen is de hoogte *h* van het blok gemeten ten opzichte van de grond, als functie van de tijd *t*. Het resultaat is weergegeven in figuur 1.

figuur 1



Op *t* = 0,35 s laat de deelnemer het blok los. Op dat moment is de kinetische energie van het blok maximaal.

7 Leg uit hoe je dit aan de (*h*,*t*)-grafiek kunt zien.

8 Toon met behulp van de wet van behoud van energie aan dat de maximale kinetische energie gelijk is aan 0,81 kJ. Bepaal hiervoor eerst de maximale waarde van de zwaarte-energie E_z.

Voor de mechanische energie geldt: $E_{mech} = E_k + E_z$.

9 Bepaal het (gemiddelde) mechanische vermogen dat de deelnemer levert tussen t = 0,15 s en t = 0,35 s.

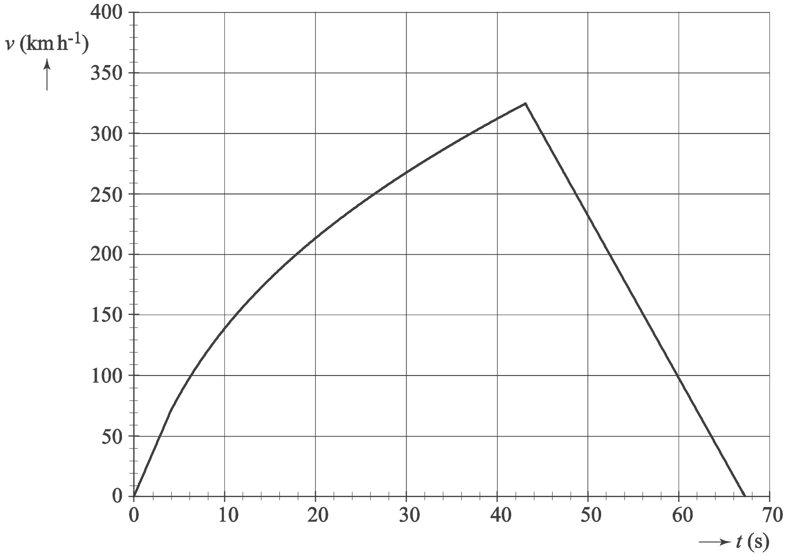
RTO

figuur 1

Vliegtuigen worden regelmatig onderworpen aan zware testen. Een voorbeeld van zo'n test is de Rejected Take Off (RTO).
Tijdens een RTO versnelt een vliegtuig tot de snelheid die nodig is om op te stijgen. Daarna wordt er zo hard mogelijk geremd. Tijdens deze noodstop worden de remmen soms zó heet dat ze in brand kunnen vliegen. Zie figuur 1.

In figuur 2 is het (v,t)-diagram van een RTO-test gegeven.

figuur 2



Het vliegtuig heeft een massa van $5{,}9 \cdot 10^5$ kg. De maximale kinetische energie van het vliegtuig is $2{,}4 \cdot 10^9$ J.

10 Toon dit aan.

©ThiemeMeulenhoff

De motoren gebruiken kerosine als brandstof. Bij verbranding levert 1,0 m^3 kerosine $35{,}5 \cdot 10^9$ J. Het rendement van de motoren is 40%.

11 Bereken hoeveel liter kerosine de motoren minimaal nodig hebben om het vliegtuig tot de maximale snelheid te versnellen.

Het vliegtuig heeft 20 wielen; ieder wiel heeft één rem.

12 Bepaal met behulp van de wet van arbeid en kinetische energie de remkracht die één wiel uitoefent tijdens het afremmen. Gebruik hiervoor ook figuur 2.

Hierna staan drie zinnen over het afremmen van het vliegtuig.

13 Maak deze zinnen compleet door het juiste alternatief te kiezen en de zinnen af te maken.

1 Bij het afremmen **neemt de remkracht toe / neemt de remkracht af / blijft de remkracht gelijk**, want: ....

....

....

2 Bij het afremmen **neemt het vermogen van de remmen toe / neemt het vermogen van de remmen af / blijft het vermogen van de remmen gelijk**, want: ....

....

....

Maak deze zin compleet door de juiste alternatieven te kiezen.

3 De remmen van de wielen worden zeer heet omdat er **meer/minder** energie per seconde aan de remmen wordt **toegevoerd/afgevoerd** dan er per seconde door de remmen wordt **opgenomen/afgestaan** aan de omgeving.

©ThiemeMeulenhoff

Fontein van Genève

In het Meer van Genève bevindt zich een van de grootste fonteinen ter wereld. Bij de fontein hangt een informatiebordje. De tekst op dit bordje staat, vertaald, weergegeven in figuur 1.

figuur 1

Fontein van Genève

Elke seconde wordt er 450 liter water de lucht in gestuwd tot een hoogte van 140 m.

Het water wordt met twee pompen door een spuitmond gespoten met een snelheid van 200 km/h. De twee elektrische pompen hebben elk een vermogen van 500 kW.

Na zonsondergang wordt de straal verlicht door een aantal lampen met een gezamenlijk vermogen van 13,5 kW.

Fontein in werking:
maandag tot vrijdag: 10.00 - zonsondergang
vrijdag tot en met zondag: 10.00 – 22.30 uur.

De twee elektrische pompen hebben elk een vermogen van 500 kW.
Het water wordt met een snelheid van 200 km h^{-1} uit de spuitmond gespoten.

14 Bereken het rendement van de elektrische pompen. Neem hierbij voor de dichtheid van water 1,00 kg L^{-1}.

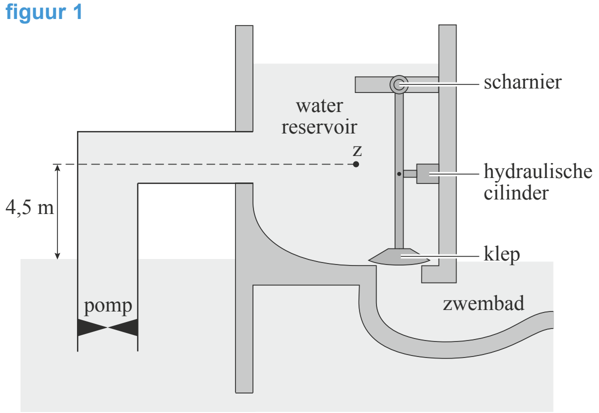
15 Toon met een berekening aan of het water de maximale hoogte die op het bordje staat kan halen.

©ThiemeMeulenhoff

Soliton

In Greensboro, Amerika, staat een bijzonder golfslagbad waar om de paar minuten één reusachtige golfberg, een soliton, gemaakt wordt. Om zo'n golfberg te maken wordt met een elektrische pomp water uit het zwembad in een waterreservoir gepompt. Zie figuur 1.

figuur 1



Tijdens het vullen van het reservoir wordt een watervolume van 341 m^3 in 136 s omhoog gepompt. Het zwaartepunt van het water in het reservoir komt daarbij 4,5 m boven het water in het zwembad te liggen.
De pomp heeft een elektrisch vermogen van 441 kW.
De verandering van het waterniveau in het zwembad is tijdens het pompen te verwaarlozen.

16 Bereken het rendement van de pomp.

©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 5

1 Hoeveel energie is er en hoeveel energie wordt verbruikt per km?
2 Wat weet je bij constante snelheid van de som van de krachten?
3 Welk verband is er tussen *E, P* en *t*?
4 Bereken de tijdsduur uit de energie en het vermogen.
5 Let op de luchtwrijving en de zwaartekracht.
6 Lees in figuur 2 de arbeid af bij 8,0 $m\,s^{-1}$ en bij 10 $m\,s^{-1}$.
7 Wanneer is de snelheid het grootst?
8 Hoe groot is de kinetische energie in het hoogste punt?
9 Hoeveel neemt de zwaarte-energie toe tussen 0,15 s en 0,35 s?
10 Zie Binas 35A4.
11 Wat betekent: het rendement is 40%?
12 Bepaal de remweg uit figuur 2.
13 Zie Binas 35A3 en 35A4.
14 Bereken de kinetische energie van het water dat per seconde door de spuitmond gaat.
15 Maak gebruik van de wet van behoud van energie.
16 Bereken de zwaarte-energie van het omhoog gepompte water.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 5

Eliica

1 Er geldt:

$$\textit{actieradius} = \frac{\textit{totale energie die de accu's kunnen leveren}}{\textit{gemiddeld energieverbruik per kilometer}} = \frac{55 \text{ kWh}}{0{,}17 \text{ kWh km}^{-1}} = 3{,}2 \cdot 10^2 \text{ km}$$

2 Als de auto met constante snelheid rijdt, is er evenwicht tussen de kracht van de motor F_m en de wrijvingskracht F_w, dus: $|F_w| = |F_m|$

Er geldt: $P = F_m \cdot v \Rightarrow F_m = \frac{P}{v}$ (Binas 35A4), waarin:

P = nuttig vermogen van de Eliica bij zijn topsnelheid = 92 kW = $92 \cdot 10^3$ W

v = snelheid van de auto = 190 km h^{-1} = $\frac{190 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$ = 52,78 $m\,s^{-1}$

Invullen: $|F_w| = |F_m| = \frac{92 \cdot 10^3}{52{,}78} = 1{,}7 \cdot 10^3$ N

3 *methode 1*

We berekenen het energieverbruik per km (E_{km}) bij topsnelheid met:

$0{,}79 \cdot E_{km} = P \cdot t \Rightarrow E_{km} = \frac{P \cdot t}{0{,}79}$ (Binas 35A4), waarin:

P = nuttig vermogen bij topsnelheid = 92 kW
t = tijd die de auto erover doet om 1 km af te leggen
Er geldt: $s = v \cdot t$ (Binas 35A1), met:
s = 1,00 km
v = topsnelheid van de auto = 190 km h^{-1}

zodat: $1{,}00 = 190 \cdot t \Rightarrow t = \frac{1{,}00}{190} = 5{,}26 \cdot 10^{-3}$ h (per km)

Invullen: $E_{km} = \frac{92 \cdot 5{,}26 \cdot 10^{-3}}{0{,}79} = 0{,}61$ kWh (per km)

methode 2

We berekenen de energie (E_{uur}) die wordt verbruikt in 1 uur:

$0{,}79 \cdot E_{uur} = P \cdot t \Rightarrow E_{uur} = \frac{P \cdot t}{0{,}79}$ (Binas 35A4), waarin:

P = nuttig vermogen bij topsnelheid = 92 kW
t = tijd = 1,00 h

zodat: $E_{uur} = \frac{92}{0{,}79} = 116$ kWh (per 190 km, want in 1 uur wordt 190 km afgelegd)

Voor de energie per km (E_{km}) geldt dus: $E_{km} = \frac{E_{uur}}{190} = \frac{116}{190} = 0{,}61$ kWh

©ThiemeMeulenhoff

Parkietje van Tucker

4 De 'afstand' s die het parkietje aflegt, volgt uit: $s = v \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
v = snelheid van het parkietje = 8,0 m s^{-1}
t = tijdsduur van de vlucht

Er geldt: $E = P \cdot t \Rightarrow t = \frac{E}{P}$ (Binas 35A4), waarin:
E = energie die het parkietje tijdens de vlucht verbruikt = 0,25 · 60 J = 15 J
P = vermogen van het parkietje als het met snelheid 8,0 m s^{-1} vliegt = 0,74 W (afgelezen in figuur 13)

zodat: $t = \frac{15}{0{,}74} = 20{,}3$ s

Invullen: $s = 8{,}0 \cdot 20{,}3 = 1{,}6 \cdot 10^2$ m

5
– P_w is een stijgende functie, omdat bij hogere snelheden de luchtwrijving toeneemt.
– Vogels moeten het vermogen P_k leveren om in de lucht te blijven; ze moeten voortdurend de zwaartekracht overwinnen.

6 *methode 1*
Uit figuur 2 volgt dat het parkietje bij een snelheid van 8,0 m s^{-1} een vermogen nodig heeft van 0,74 J s^{-1} (1 J s^{-1} = 1 W).

De verrichte arbeid per meter is dus $\frac{0{,}74}{8{,}0} = 0{,}093$ J m^{-1}.

Uit figuur 2 volgt ook dat het parkietje een vermogen van 0,81 J s^{-1} nodig heeft om met 10,0 m s^{-1} te kunnen vliegen.
De verrichte arbeid per meter is dan dus $\frac{0{,}81}{10{,}0} = 0{,}081$ J m^{-1}.

Bij een snelheid van 10 m s^{-1} is de arbeid die het parkietje per meter verricht dus kleiner dan bij een snelheid van 8,0 m s^{-1}.

Voor de arbeid per meter $\left(\frac{W}{s}\right)$ *die de vogel verricht geldt:* $\frac{W}{s} = \frac{P \cdot t}{v \cdot t} = \frac{P}{v}$ *(Binas 35A4, 35A1).*

methode 2
De arbeid W die het parkietje moet verrichten om één meter te vliegen, volgt ook uit:
$W = P \cdot t$ (Binas 35A4), waarin:
P = vermogen dat het parkietje moet ontwikkelen (zie figuur 2)
t = tijd die het parkietje nodig heeft om 1,0 m te vliegen = $\frac{s}{v}$ (Binas 35A1), met: s = 1,0 m en v aflezen in figuur 2

Bij een snelheid van 8,0 m s^{-1} vindt men: $W = 0{,}74 \cdot \frac{1{,}0}{8{,}0} = 0{,}093$ J m^{-1}

Bij een snelheid van 10,0 m s^{-1} vindt men: $W = 0{,}81 \cdot \frac{1{,}0}{10{,}0} = 0{,}081$ J m^{-1}

Bij een snelheid van 10 m s^{-1} is de arbeid die het parkietje per meter verricht dus kleiner dan bij een snelheid van 8,0 m s^{-1}.

Highland Games

7 Voor de kinetische energie E_k geldt: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ E_k is maximaal als de snelheid v maximaal is.

Er geldt: $v = \left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$ (Binas 35A1) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ v is maximaal op het tijdstip dat de raaklijn aan de grafiek in het (h,t)-diagram van figuur 1 het steilst is. Dit is op het tijdstip t = 0,35 s

8 *methode 1*
De maximale kinetische energie $E_{k,max}$ vinden we met de wet van behoud van energie: $E_{k,max} + E_{z,los} = E_{k,top} + E_{z,top}$ (Binas 35A4), waarin:
$E_{z,los}$ = zwaarte energie op het moment van loslaten = $m \cdot g \cdot h_{los}$ (Binas 35A4), met:
m = massa van het blok = 25 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h_{los} = hoogte die het blok op 0,35 s heeft = 1,7 m (afgelezen in figuur 1)
zodat: $E_{z,los} = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}7 = 4{,}17 \cdot 10^2$ J
$E_{k,top}$ = kinetische energie op het hoogste punt = 0 (snelheid is nul)
$E_{z,top}$ = zwaarte energie op het hoogste punt = $m \cdot g \cdot h_{top}$, met:
h_{top} = hoogste punt van het blok = 5,0 m
zodat: $E_{z,top} = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 5{,}0 = 1{,}23 \cdot 10^3$ J
Invullen: $E_{k,max} + 4{,}17 \cdot 10^2 = 1{,}23 \cdot 10^3 \Rightarrow$
$\Rightarrow E_{k,max} = 1{,}23 \cdot 10^3 - 4{,}17 \cdot 10^2 = 0{,}81 \cdot 10^3$ J = 0,81 kJ

methode 2
Er geldt: $E_{k,max} = \Delta E_z$, waarin:
ΔE_z = toename van de zwaarte energie tussen t = 0,35 s (loslaten) en t = 1,1 s (hoogste punt) = $m \cdot g \cdot \Delta h$ (Binas 35A4), met:
m = massa van het blok = 25 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Δh = hoogteverschil tussen 0,35 s en 1,1 s =
= 5,0 – 1,7 = 3,3 m (afgelezen in figuur 1)
Invullen: $\Delta E_z = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}3 = 0{,}81 \cdot 10^3$ J = 0,81 kJ

9 *methode 1*
Het (gemiddelde) mechanische vermogen P dat de deelnemer levert tussen t = 0,15 s en t = 0,35 s, bepalen we met:
$P = \frac{E_{mech}}{\Delta t} = \frac{E_{k\text{-}0,35} + \Delta E_z}{\Delta t}$ (Binas 35A4), waarin:
E_{mech} = mechanische energie die de deelnemer levert
ΔE_z = toename van de zwaarte-energie van het blok tussen t = 0,15 s en t = 0,35 s
Er geldt: $\Delta E_z = E_{z\text{-}0,35} - E_{z\text{-}0,15}$, met:
$E_{z\text{-}0,35}$ = zwaarte-energie op tijd 0,35 s = $m \cdot g \cdot h_{0,35}$ (Binas 35A4), met:
m = massa van het blok = 25 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
$h_{0,35}$ = hoogte die het blok op 0,35 s heeft = 1,7 m (afgelezen in figuur 1)
dus: $E_{z\text{-}0,35} = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}7 = 4{,}17 \cdot 10^2$ J
$E_{z\text{-}0,15}$ = zwaarte-energie op tijd 0,15 s = $m \cdot g \cdot h_{0,15}$ (Binas 35A4), met:
$h_{0,15}$ = hoogte die het blok op 0,15 s heeft = 0,40 m (afgelezen in figuur 1)
dus: $E_{z\text{-}0,15} = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}40 = 0{,}98 \cdot 10^2$ J
zodat: $\Delta E_z = 4{,}17 \cdot 10^2 - 0{,}98 \cdot 10^2 = 3{,}19 \cdot 10^2$ J
$E_{k\text{-}0,35}$ = kinetische energie op tijdstip 0,35 s = $0{,}81 \cdot 10^3$ J
Δt = tijdsduur = 0,35 – 0,15 = 0,20 s

Invullen: $P = \frac{0{,}81 \cdot 10^3 + 3{,}19 \cdot 10^2}{0{,}20} = 5{,}6 \cdot 10^3$ W

methode 2
Het (gemiddelde) mechanische vermogen P dat de deelnemer levert tussen $t = 0{,}15$ s en $t = 0{,}35$ s, bepalen we met:

$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta E_{z,max}}{\Delta t}$, waarin:

ΔE = geleverde energie tussen 0,15 s en 0,35 s
Δt = tijdsduur = 0,35 – 0,15 = 0,20 s
$\Delta E_{z,max}$ = maximale toename van de zwaarte energie = $m \cdot g \cdot \Delta h$ (Binas 35A4), met:
m = massa van het blok = 25 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Δh = maximale hoogteverschil = 5,0 – 0,4 = 4,6 m (afgelezen in figuur 1)
zodat: $E_{z,max} = 25 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}6 = 1{,}128 \cdot 10^3$ J

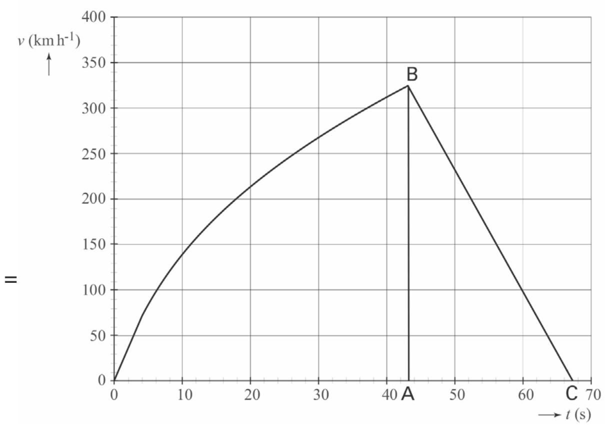
Invullen: $P = \frac{1{,}128 \cdot 10^3}{0{,}20} = 5{,}6 \cdot 10^3$ W

RTO

10 Voor de maximale kinetische energie $E_{k,max}$ van het vliegtuig geldt:
$E_{k,max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}{}^2$ (Binas 35A4), waarin:
m = massa van het vliegtuig = $5{,}9 \cdot 10^5$ kg
v_{max} = maximale snelheid van het vliegtuig = 325 km h^{-1} (afgelezen in figuur 2) =
$= \frac{325}{3{,}6}$ m s^{-1} = 90,3 m s^{-1}
Invullen: $E_{k,max} = \frac{1}{2} \cdot 5{,}9 \cdot 10^5 \cdot (90{,}3)^2 = 2{,}4 \cdot 10^9$ J

11 We vinden het benodigde volume V van de kerosine uit: $0{,}40 \cdot c_v \cdot V = E_{k,max}$, met:
c_v = verbrandingswarmte van kerosine = $35{,}5 \cdot 10^9$ J m^{-3}
$E_{k,max}$ = maximale kinetische energie van het vliegtuig = $2{,}4 \cdot 10^9$ J
Invullen: $0{,}40 \cdot 35{,}5 \cdot 10^9 \cdot V = 2{,}4 \cdot 10^9 \Rightarrow V = \frac{2{,}4 \cdot 10^9}{0{,}40 \cdot 35{,}5 \cdot 10^9}$ m^3 = 0,17 m^3 = $1{,}7 \cdot 10^2$ L

12 We bepalen de remkracht F_{rem} op de 20 wielen met de wet van arbeid en kinetische energie:
$F_{rem} \cdot s = E_{k,max}$ (Binas 35A4), waarin:
s = remweg = oppervlakte van ΔACB in de tekening
$= \frac{1}{2} \cdot AC \cdot AB =$
$= \frac{1}{2} \cdot (67 - 43 \text{ s}) \cdot (325 \text{ km h}^{-1}) =$
$= \frac{1}{2} \cdot (24 \text{ s}) \cdot \left(\frac{325}{3{,}6} \text{ m s}^{-1}\right) =$
$= 1{,}08 \cdot 10^3$ m



$E_{k,max}$ = maximale kinetische energie van het vliegtuig = $2{,}4 \cdot 10^9$ J
Invullen: $F_{rem} \cdot 1{,}08 \cdot 10^3 = 2{,}4 \cdot 10^9 \Rightarrow F_{rem} = \frac{2{,}4 \cdot 10^9}{1{,}08 \cdot 10^3} = 2{,}22 \cdot 10^6$ N

De remkracht op één wiel is dus: $\frac{2{,}22 \cdot 10^6}{20} = 1{,}1 \cdot 10^5$ N

©ThiemeMeulenhoff

13 zin 1:
Bij het afremmen blijft de remkracht gelijk, want voor de remkracht geldt: $F = m \cdot a$ (Binas 35A3) en de vertraging a is tijdens het afremmen constant (zie figuur 2: tijdens het remmen neemt de snelheid v lineair af, dus $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ is constant).
zin 2:
Bij het afremmen neemt het vermogen van de remmen af, want voor het vermogen P geldt: $P = F_{rem} \cdot v$ (Binas 35A4), waarin de remkracht F_{rem} constant is en de snelheid v tijdens het remmen afneemt.
zin 3:
De remmen van de wielen worden zeer heet, omdat er meer energie per seconde aan de remmen wordt toegevoerd, dan er per seconde door de remmen wordt afgestaan aan de omgeving.

Fontein van Genève

14 Voor het rendement η van de elektrische pompen geldt:
$\eta = \frac{E_k}{E_{pompen}} \cdot 100\%$ (Binas 35A4), waarin:
E_k = kinetische energie van het water dat per seconde door de spuitmond gaat
$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) $= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2$ (Binas 35C1), met:
m = massa van het water dat per seconde door de spuitmond gaat
v = snelheid waarmee het water uit de spuitmond spuit = 200 km h^{-1} =
$= \frac{200 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 55{,}56$ m s^{-1}
ρ = dichtheid van water = 1,00 kg L^{-1}
V = volume van het water dat per seconde door de spuitmond gaat = 450 L
zodat: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1{,}00 \cdot 450 \cdot (55{,}56)^2 = 6{,}95 \cdot 10^5$ J
E_{pompen} = energie die de twee pompen samen per seconde leveren =
$= P \cdot t$ (Binas 35D1), met:
P = vermogen van de twee pompen samen = 2 · 500 = 1000 kW = $1000 \cdot 10^3$ W
t = tijdsduur = 1,00 s
zodat: $E_{pompen} = 1000 \cdot 10^3 \cdot 1{,}00 = 1000 \cdot 10^3$ J
Invullen: $\eta = \frac{6{,}95 \cdot 10^5}{1000 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 69{,}5$ %

15 *methode 1*
Als we geen rekening houden met de wrijving die het water van de lucht ondervindt, geldt voor de maximale hoogte h die het water kan bereiken:
$E_k = E_z \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4) $\Rightarrow h = \frac{v^2}{2 \cdot g}$, waarin:
E_k = kinetische energie van het water met massa m in de spuitmond
E_z = zwaarte-energie van het water met massa m in het hoogste punt
v = snelheid waarmee het water uit de spuitmond wordt gespoten =
$= 200$ km h^{-1} $= \frac{200 \cdot 10^3}{3600}$ m s^{-1} = 55,56 m s^{-1}
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Invullen: $h = \frac{(55{,}56)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 157$ m
Het water zou de maximale hoogte van 140 m dus kunnen halen.

©ThiemeMeulenhoff

methode 2

We berekenen de minimale snelheid v waarmee het water de spuitmond moet verlaten om de hoogte h van 140 m te bereiken.
Hierbij houden we opnieuw geen rekening met de wrijving. Dan geldt:

$E_k = E_z \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4) $\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, waarin:

E_k = minimaal benodigde kinetische energie van het water in de spuitmond
E_z = zwaarte-energie van het water in het hoogste punt
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = 140 m

Invullen: $v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 140} = 52{,}4 \text{ m s}^{-1} = \frac{52{,}4 \cdot 3600 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{52{,}4 \cdot 3{,}6 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 189 \text{ km h}^{-1}$

Dit is minder dan 200 km h^{-1}, dus het water zou de maximale hoogte van 140 m kunnen halen.

Soliton

16 Voor het rendement η van de pomp geldt: $\eta = \frac{E_z}{E_{el}} \cdot 100\%$ (Binas 35A4), waarin:

E_z = zwaarte-energie van het omhoog gepompte water =
= $m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h$ (Binas 35A4 en 35C1), met:
m = massa van het omhoog gepompte water
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = hoogte van het zwaartepunt Z van het water in het reservoir ten opzichte van het waterniveau in het zwembad = 4,5 m
ρ = dichtheid van water = $0{,}998 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 11)
V = volume van het water in het reservoir = 341 m^3
zodat: $E_z = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 341 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}5 = 1{,}50 \cdot 10^7$ J
E_{el} = toegevoerde elektrische energie van de pomp = $P_{el} \cdot t$ (Binas 35D1), met:
P_{el} = elektrisch vermogen van de pomp = 441 kW = $441 \cdot 10^3$ W
t = benodigde tijd = 136 s
zodat: $E_{el} = 441 \cdot 10^3 \cdot 136 = 6{,}00 \cdot 10^7$ J

Invullen: $\eta = \frac{1{,}50 \cdot 10^7}{6{,}00 \cdot 10^7} \cdot 100\% = 25\%$

6 Eigenschappen van stoffen en materialen

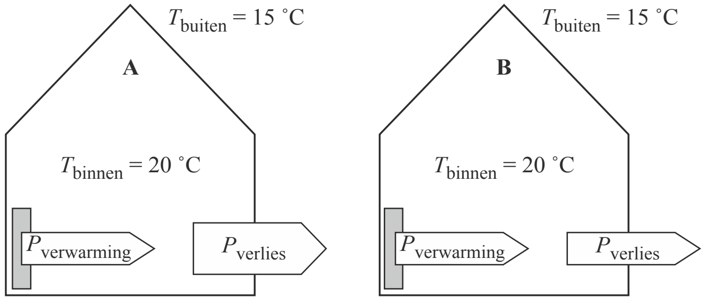
Binnenklimaat

Huizen worden tegenwoordig steeds beter geïsoleerd. Het gevolg hiervan is dat er ook goed geventileerd moet worden. In deze opgave wordt daarom zowel naar isolatie als naar ventilatie gekeken.

Isolatie

In figuur 1 zijn twee identieke huizen getekend die niet op dezelfde wijze zijn geïsoleerd. In de huizen is met pijlen aangeven hoeveel warmte er per seconde aan een huis wordt toegevoerd ($P_{verwarming}$) en hoeveel warmte er per seconde verloren gaat ($P_{verlies}$). De breedte van de pijlen is een maat voor het vermogen.

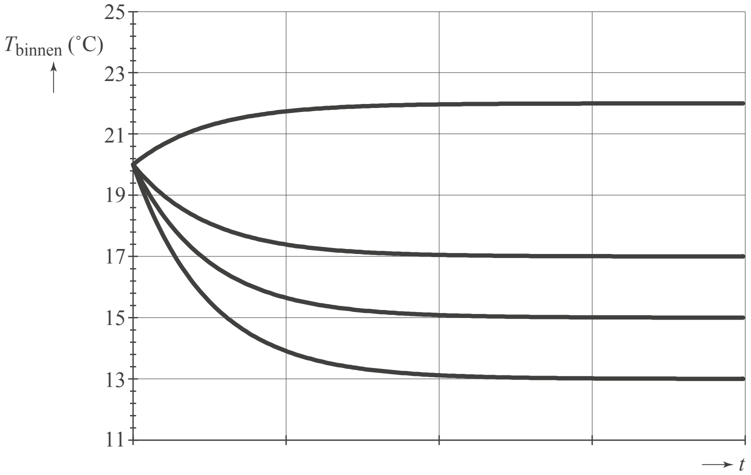
figuur 1



In figuur 2 staat een diagram waarin vier grafieken zijn gegeven die het mogelijke verloop van de binnentemperatuur van huis A geven als functie van de tijd.
Op een bepaald moment is de binnentemperatuur 20 °C. Veronderstel dat de toegevoerde warmte per seconde en de buitentemperatuur niet veranderen.

1 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in figuur 2 met de letter A aan welke grafiek het temperatuurverloop in huis A het beste weergeeft.
- Teken in figuur 2 het temperatuurverloop in huis B.

figuur 2



Een goede manier om een schuin dak te isoleren is het aanbrengen van een laag steenwol. Steenwol is verkrijgbaar in verschillende diktes. Voor de warmtestroom door het steenwol geldt:

$$P = \lambda A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Veronderstel dat het oppervlak en het temperatuurverschil gelijk blijft.

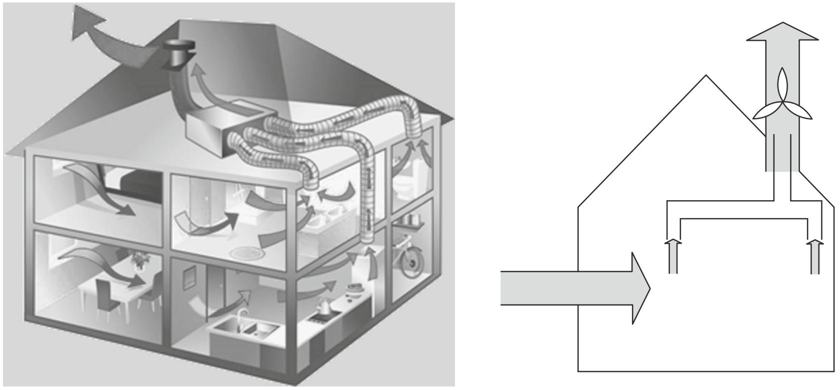
2 Geef in de tabel hierna voor *P* en voor λ aan of deze grootheden kleiner worden, gelijk blijven of groter worden als de dikte *d* van de isolatie toeneemt.

	wordt kleiner	blijft gelijk	wordt groter
P			
λ			
A		X	
ΔT		X	
d			X

Ventilatie

Om te ventileren wordt gebruikgemaakt van een elektrisch ventilatiesysteem. Een ventilator zuigt lucht via een aantal ventilatiekanalen uit de kamers en blaast de lucht vervolgens naar buiten. Verse lucht wordt aangevoerd door ramen of roosters. Zie figuur 3.

figuur 3



In een bepaalde huiskamer wordt zo 215 m^3 lucht per uur afgevoerd. Deze kamer heeft een vloeroppervlak van 44 m^2 en een hoogte van 2,44 m.
Het ‘ventilatievoud’ geeft aan hoe vaak de lucht in een ruimte per uur volledig wordt afgevoerd.

3 Bereken het ventilatievoud van deze kamer.

Het debiet is het aantal kubieke meters lucht dat per seconde wordt afgevoerd en is te berekenen met:

debiet = vA

Hierin is:
- A de oppervlakte van de doorsnede van de ventilatiekanalen in m^2;
- v de snelheid van de lucht in de ventilatiekanalen in m s^{-1}.

Volgens de bouwvoorschriften mag de snelheid van de lucht in de kanalen niet groter zijn dan 4,0 m s^{-1}. De huiskamer beschikt over twee ventilatiekanalen om de lucht af te voeren. Bij de bouw van het huis had men de keuze uit buizen met een diameter van 80 mm, 100 mm, 125 mm en 150 mm.

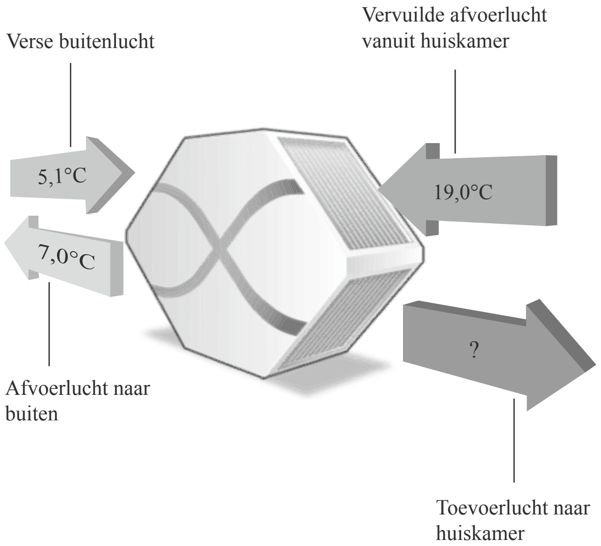
4 Leg met een berekening uit welke buisdiameter in dit huis minimaal moest worden gebruikt.

In de winter is de lucht die aangevoerd wordt koud. De centrale verwarming moet deze lucht dan verwarmen. In deze verwarmingsinstallatie wordt aardgas verbrand. Bij het verbranden van 1,0 m^3 aardgas komt $32 \cdot 10^6$ J warmte vrij.
Stel dat de thermostaat in de huiskamer is ingesteld op 19,0 °C bij een buitentemperatuur van 5,1 °C. Er wordt 255 kg lucht per uur toegevoerd.
Het totale rendement van de verwarmingsinstallatie is 100%.

5 Bereken hoeveel kubieke meter aardgas er per uur verbrand moet worden om de aangevoerde lucht te verwarmen.

Om energie te besparen zijn er ook ventilatiesystemen met een warmte-terugwinsysteem. Hierin wordt de toevoerlucht door een ventilator aangezogen en dan langs de afvoerlucht geleid. Bij lage buitentemperaturen wordt zo de warme afvoerlucht gebruikt om de koude toevoerlucht te verwarmen. Zie figuur 4.

figuur 4



Stel dat de aangevoerde lucht een temperatuur heeft van 5,1 °C en de afgevoerde lucht afkoelt van 19,0 °C tot 7,0 °C, zie figuur 4.
De massa van de lucht die per seconde wordt aangevoerd is gelijk aan de massa van de lucht die per seconde wordt afgevoerd.

6 Bereken de temperatuur waarmee de toevoerlucht de huiskamer binnenkomt.
Geef je antwoord in drie significante cijfers.

Kruiken

figuur 1

Babybedjes worden vaak nog verwarmd met kruiken. Meestal is dat een roestvrij stalen fles die gevuld is met heet water. Zie figuur 1.

De roestvrij stalen kruik uit figuur 1 heeft een massa van 0,43 kg en is gevuld met 1,1 liter heet water.
'S Nachts koelt de kruik met water af van 85 °C tot 35 °C.

7 Bereken hoeveel warmte de kruik met water dan heeft afgestaan.

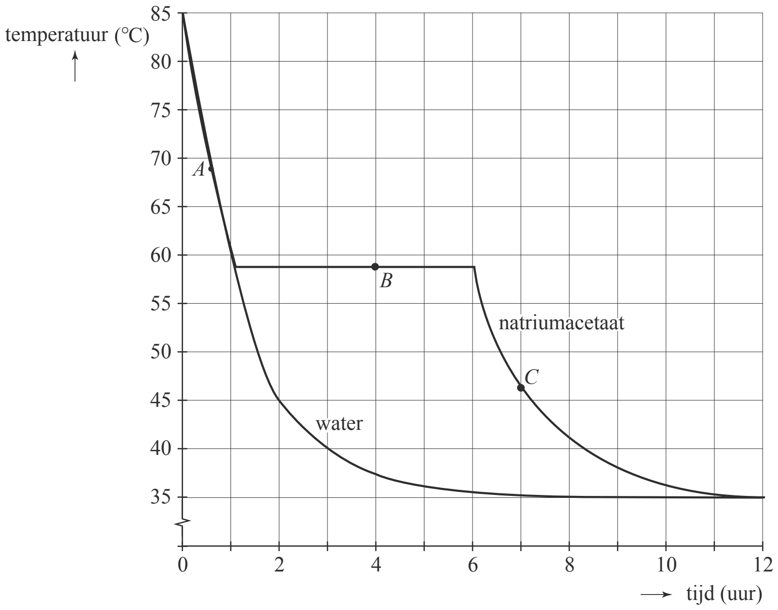
In ziekenhuizen zijn kruiken niet gevuld met water maar met natriumacetaat. In de tabel hieronder staan enkele stofeigenschappen van natriumacetaat en water.

	smeltpunt (°C)	smeltwarmte* (Jkg^{-1})	dichtheid bij 70 °C (kgm^{-3})
water	0	$3{,}34 \cdot 10^5$	$0{,}978 \cdot 10^3$
natriumacetaat	58	$2{,}89 \cdot 10^5$	$1{,}45 \cdot 10^3$

* De smeltwarmte van een stof is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 kg van die stof volledig te laten smelten. Deze warmte komt vrij als de stof stolt.

Om de warmteafgifte van een kruik gevuld met natriumacetaat te vergelijken met een identieke kruik gevuld met water, wordt tijdens het afkoelen van beide kruiken een (temperatuur,tijd)-diagram opgemeten. Zie figuur 2.

figuur 2



In de grafiek van de kruik die gevuld is met natriumacetaat zijn drie punten A, B en C aangegeven.

8 Geef in tabel 1 met kruisjes aan in welke fase(n) het natriumacetaat zich bevindt bij A, B en C.

tabel 1

	vast	vloeibaar	gasvormig
A			
B			
C			

9 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met kruisjes aan of de kruik wel of geen warmte afstaat bij A, B en C.

tabel 2

	kruik staat warmte af	kruik staat geen warmte af
A		
B		
C		

In het eerste uur van de meting geldt voor de afgegeven warmte Q het volgende verband:

$Q = c\rho V \Delta T$

Hierin is:
- c de soortelijke warmte in $J\,kg^{-1}K^{-1}$;
- ρ de dichtheid in $kg\,m^{-3}$;
- V het volume in m^3;
- ΔT het temperatuurverschil in ºC.

10 Leid dit verband af met behulp van formules uit Binas.

In het eerste uur van de meting blijkt de kruik die gevuld is met natriumacetaat evenveel warmte per seconde te verliezen als de kruik die gevuld is met water.

11 Leg uit of de soortelijke warmte van natriumacetaat bij 70 °C groter, kleiner of gelijk is aan de soortelijke warmte van water.
Gebruik in je antwoord ook de grafiek van figuur 2.

In een ziekenhuis worden kruiken opgewarmd in een kruikenmoeder.
In dit apparaat zitten negen schachten (openingen) waarin de kruiken passen.
Zie figuur 3.
De kruikenmoeder is helemaal gevuld met water dat wordt verwarmd met een elektrisch verwarmingselement.

12 Wat is de belangrijkste vorm van warmtetransport van het element naar een schacht?

Om een kruik op te warmen is $7{,}0 \cdot 10^5$ J aan energie nodig. Het element in de kruikenmoeder heeft een vermogen van 1,2 kW.

13 Bereken hoeveel minuten er minimaal nodig zijn om negen kruiken tegelijk op te warmen.

figuur 3

bron: Dörr Kampen

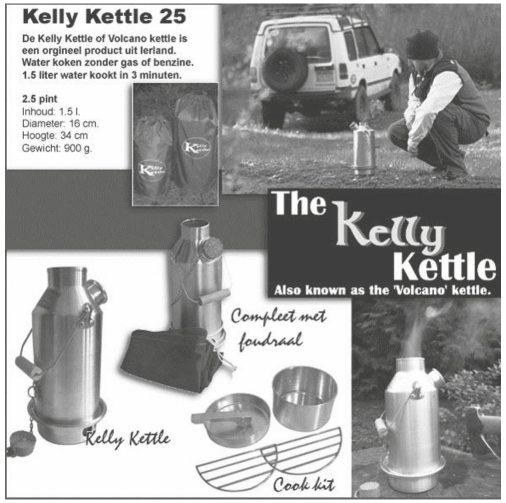
Kelly Kettle

Tijdens kamperen wordt er vaak water verwarmd om te koken. In een oude folder van een fabrikant van campingspullen staat daarover: “Om 1,5 liter water met een temperatuur van 20 °C aan de kook te brengen is er $12 \cdot 10^4$ calorie aan energie nodig.”

14 Laat met behulp van Binas tabel 5 zien dat dit klopt.

Fermi leest in een tijdschrift voor de kampeerder een advertentie over ‘The Kelly Kettle’. Zie figuur 1.

figuur 1

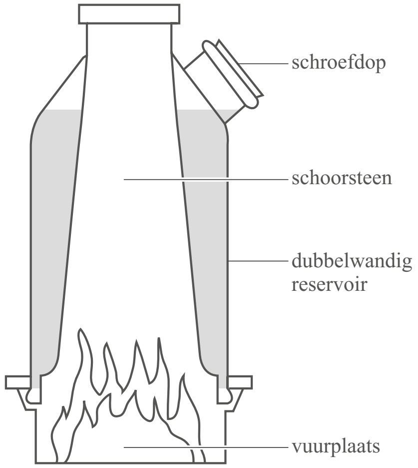


De Kelly Kettle heeft geen elektriciteit, gas of benzine nodig om water te koken: droog gras is voldoende.
Bij het verbranden van 1,0 kg droog gras komt 14,7 MJ energie vrij.

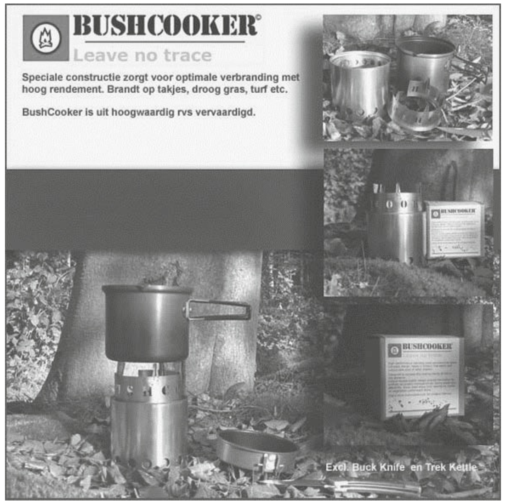
15 Bereken hoeveel gram droog gras er (minimaal) nodig is om met de Kelly Kettle 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen.

De Kelly Kettle is een dubbelwandige schoorsteen boven een vuurtje van droog gras. In de dubbele wand kan water worden gegoten. In figuur 2 is een dwarsdoorsnede van een met water gevulde Kelly Kettle getekend.
In figuur 3 is een ander type campingbrander te zien, de ‘Bushcooker’, die ook op droog gras brandt. De pan met water staat hierbij bovenop het vuur. In beide types kan 1,5 liter water aan de kook worden gebracht. Beide types zijn van roestvrij staal gemaakt.

figuur 2



figuur 3



Voor de warmteoverdracht P geldt: $P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$

16 Leg met behulp van bovenstaande formule uit waarom het water in de Kelly Kettle eerder kookt dan het water in de Bushcooker.

Op de school van Fermi wordt een dompelaar (verwarmingselement) gebruikt met een elektrisch vermogen van 300 W om water te verwarmen.

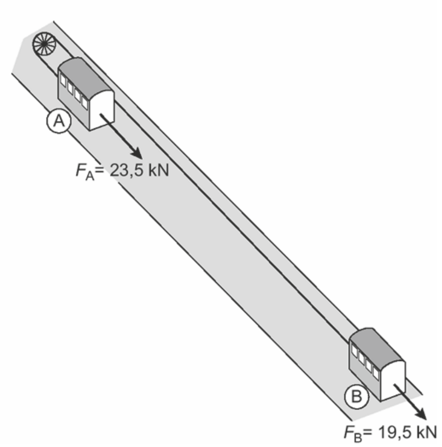
17 Hoeveel van die dompelaars zouden nodig zijn om – net als bij de Kelly Kettle – binnen 3,0 minuten 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen? Licht je antwoord met een berekening toe.

Nerobergbahn

De Duitse stad Wiesbaden heeft sinds 1888 een bijzondere attractie: de Nerobergbahn.
Deze bergbahn bestaat uit twee wagons, die verbonden zijn door één kabel.
Deze kabel loopt boven in het ‘Bergbahnhof’ over een grote katrol. Zie figuur 1 en 2.

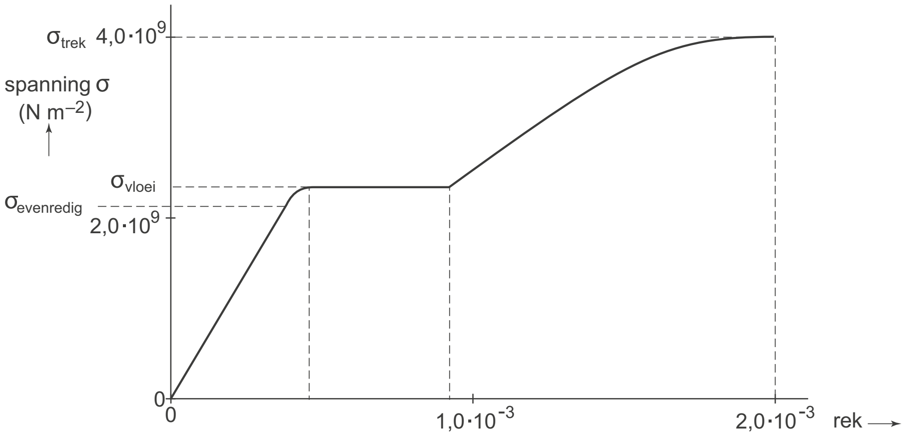
figuur 1

figuur 2



De kabel is 450 m lang. De oppervlakte van de doorsnede van de kabel is 6,2 cm^2.
In figuur 3 staat het rek-trekdiagram van een kabel van hetzelfde materiaal en met dezelfde doorsnede.

figuur 3



De maximale lengteverandering in het elastische gebied is 20 cm.

18 Laat dit zien aan de hand van figuur 3.

19 Bepaal de maximale spankracht in het elastische gebied.

20 Bepaal de elasticiteitsmodulus in het elastische gebied.

©ThiemeMeulenhoff

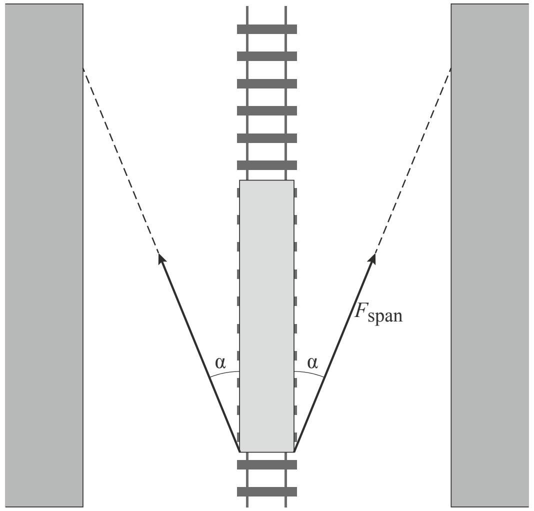
Trein in het web-II

In de film Spiderman 2 stopt de held Spiderman een op hol geslagen trein met behulp van draden gesponnen uit spinrag. Zie figuur 1.
Engelse natuurkundestudenten van de Universiteit van Leicester hebben berekend of het spinrag van een gewone spin hiervoor sterk genoeg is. In deze opgave gaan we deze berekening na.

figuur 1

In de film gebruikt Spiderman draden van spinrag die hij links en rechts van de trein aan de gebouwen vast schiet. De eerste draden die Spiderman aan de gebouwen bevestigd heeft, maken een hoek α met de trein. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 2



Tijdens het afremmen verandert hoek α en worden de draden langer.
De resulterende kracht F op de trein wordt hierdoor groter.

Als de draden maximaal zijn uitgerekt, is de spankracht in de linkerdraad $1{,}8 \cdot 10^5$ N.
De (relatieve) rek van het spinrag van Spiderman is dan 40.
Uit de film blijkt dat elk van de twee draden van het spinrag van Spiderman bestaat uit acht losse draden. De diameter van een van deze acht draden is 5,0 mm. De diameter is tijdens het remmen constant. Het sterkste spinrag dat in de natuur wordt gevonden, heeft een elasticiteitsmodulus van 12 GPa bij een (relatieve) rek van 40.

21 Leg met behulp van een berekening van de spanning uit of het spinrag dat in de natuur wordt gevonden minder sterk is dan, even sterk is als, of sterker is dan het spinrag van Spiderman.

©ThiemeMeulenhoff

Hints bij hoofdstuk 6

1 Kan de temperatuur in het huis 15 °C of lager worden?

2 Waarvan hangt de constante λ af?

3 Wat is het volume van de kamer?

4 Bereken eerst de minimale oppervlakte *A* van de doorsnede van de twee ventilatiekanalen samen.

5 Bereken eerst de warmte *Q* die per uur aan de lucht wordt afgegeven.

6 $Q = c \,.\, m \,.\, \Delta T$

7 Zowel de vloeistof in de fles als het metaal van de fles staat warmte af.

8 Het smeltpunt van natriumacetaat is 58 °C.

9 De temperatuur van de omgeving is 35 °C.

10 Voeg twee formules uit Binas samen.

11 De warmteafgifte *Q* is voor beide kruiken gelijk.

12 Is het water in de kruikenmoeder in beweging of niet?

13 Vermogen is warmteafgifte per seconde.

14 Zie Binas 35C4.

15 Hoeveel J energie is er nodig voor deze verwarming?

16 Wat weet je van het contactoppervlak *A* van beide types?

17 Hoeveel J energie is er nodig voor deze verwarming?

18 Waaraan is de maximale rek ε gelijk?

19 Wat is het verband tussen σ, *F* en *A*?

20 Wat stelt de helling van de rechte lijn in het elastische gebied voor?

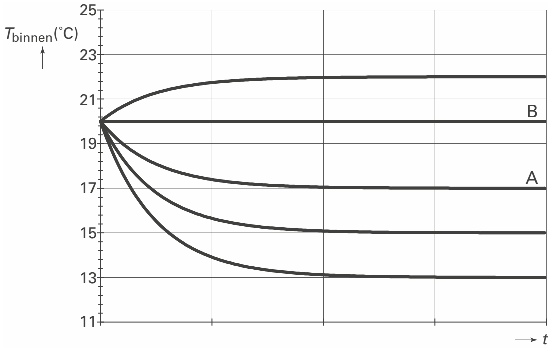
21 Zie voor de spanning σ in een draad: Binas 35A6.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 6

Binnenklimaat

1 Zie de tekening.



– *Volgens figuur 1 is in huis A de hoeveelheid warmte die per seconde wordt toegevoerd kleiner dan de hoeveelheid warmte die per seconde wordt afgevoerd. Het gevolg is dat de temperatuur in huis A gaat dalen. Het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur wordt daardoor kleiner*
$\Rightarrow P_{verlies}$ wordt kleiner.
Zodra $|P_{verlies}| = |P_{verwarming}|$, komt er per seconde evenveel warmte binnen als eruit gaat $\Rightarrow$ de temperatuur blijft constant. Deze constante temperatuur moet lager zijn dan 20 °C (de begintemperatuur) en hoger zijn dan 15 °C (de buitentemperatuur).

– *De horizontale lijn geeft het temperatuurverloop weer in huis B. Daar blijft de temperatuur T constant: T = 20 °C, omdat volgens figuur 1 het toegevoerde vermogen $P_{verwarming}$ even groot is als het afgegeven vermogen $P_{verlies}$, waardoor er evenwicht is.*

2 Zie de tabel.

Er geldt: $P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$,
waarin *A* en ΔT gelijk blijven.
De constante λ is een grootheid die bepaald wordt door de eigenschappen van het steenwol, dus λ blijft gelijk.
Als de dikte *d* van de isolatie toeneemt, zal *P* dus kleiner worden.

	wordt kleiner	blijft gelijk	wordt groter
P	X		
λ		X	
A		X	
T		X	
d			X

3 We berekenen het *ventilatievoud* van deze kamer met:

$$ventilatievoud = \frac{V_{afgevoerd,\ 1\ uur}}{V_{kamer}}, \text{ waarin:}$$

$V_{afgevoerd,\ 1\ uur}$ = volume van de lucht die per uur wordt afgevoerd = 215 m^3
V_{kamer} = volume van de kamer = *vloeroppervlakte* · *hoogte* = 44 · 2,44 = 107 m^3

Invullen: $ventilatievoud = \dfrac{215}{107} = 2{,}0$

©ThiemeMeulenhoff

4 We berekenen eerst de minimale oppervlakte A_{min} van de doorsneden van de twee ventilatiekanalen samen.

Er geldt: $debiet = v_{max} \cdot A_{min} \Rightarrow A_{min} = \frac{debiet}{v_{max}}$, waarin:

$debiet = \frac{215 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 5{,}97 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

v_{max} = maximale snelheid van de lucht in de kanalen = 4,0 m s^{-1}

Invullen: $A_{min} = \frac{5{,}97 \cdot 10^{-2}}{4{,}0} = 1{,}49 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

De kleinste oppervlakte van de doorsnede van één kanaal ($A_{min,\,1\,kanaal}$) is dus:

$\frac{1{,}49 \cdot 10^{-2}}{2} = 7{,}45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Voor de kleinste diameter d_{min} van één buis geldt dan:

$A_{min,\,1\,kanaal} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (\frac{1}{2} d_{min})^2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{min}^2$ (Binas 36B) $\Rightarrow$

$d_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{min,\,1\,kanaal}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7{,}45 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0{,}097 \text{ m} = 97 \text{ mm}$

Voor dit huis moet dus minimaal een buisdiameter worden gebruikt van 100 mm.

5 Voor het volume V_{gas} van het aardgas dat per uur verbrand moet worden, geldt:

$Q_{gas} = r_{gas} \cdot V_{gas} \Rightarrow V_{gas} = \frac{Q_{gas}}{r_{gas}}$, waarin:

Q_{gas} = warmte die per uur vrijkomt bij de verbranding van aardgas =
= warmte die per uur aan de lucht wordt afgegeven = Q_{lucht}
(het rendement van de verwarmingsinstallatie is 100%)
Er geldt: $Q_{lucht} = c_{lucht} \cdot m_{lucht} \cdot \Delta T$ (Binas 35C4), met:
c_{lucht} = soortelijke warmte van lucht = $1{,}00 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} (Binas 12)
m_{lucht} = massa van de lucht die per uur wordt toegevoerd = 255 kg
ΔT = temperatuurstijging = (19,0 – 5,1) °C = 13,9 K
zodat: $Q_{gas} = Q_{lucht} = 1{,}00 \cdot 10^3 \cdot 255 \cdot 13{,}9 = 3{,}54 \cdot 10^6$ J

r_{gas} = verbrandingswarmte van aardgas = $32 \cdot 10^6$ J m^{-3}

Invullen: $V_{gas} = \frac{3{,}54 \cdot 10^6}{32 \cdot 10^6} = 0{,}11 \text{ m}^3$

6 We berekenen de eindtemperatuur T van de toevoerlucht als deze de huiskamer binnenkomt, met: $Q_{afg} = Q_{opg}$, waarin:

Q_{afg} = per seconde afgegeven warmte = $c \cdot m_{afg} \cdot (\Delta T)_{afg}$ (Binas 35C4), met:
c = soortelijke warmte van lucht
m_{afg} = massa van de lucht die per seconde wordt afgevoerd
$(\Delta T)_{afg}$ = temperatuurdaling van de afgevoerde lucht = (19,0 – 7,0) °C = 12,0 °C

Q_{opg} = per seconde opgenomen warmte = $c \cdot m_{opg} \cdot (\Delta T)_{opg}$ (Binas 35C4), met:
c = soortelijke warmte van lucht
m_{opg} = massa van de lucht die per seconde wordt aangevoerd
$(\Delta T)_{opg}$ = temperatuurstijging van de aangevoerde lucht = $(T - 5{,}1)$ °C

Invullen: $c \cdot m_{afg} \cdot 12{,}0 = c \cdot m_{opg} \cdot (T - 5{,}1)$
Omdat $m_{afg} = m_{opg}$, geldt dus: $12{,}0 = T - 5{,}1 \Rightarrow T = 12{,}0 + 5{,}1 = 17{,}1$ °C

©ThiemeMeulenhoff

Kruiken

7 We berekenen de hoeveelheid warmte Q die de kruik met water heeft afgestaan met:
$Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T + c_{rvs} \cdot m_{rvs} \cdot \Delta T$ (Binas 35C4), waarin:
c_w = soortelijke warmte van water = $4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} (Binas 11)
c_{rvs} = soortelijke warmte van roestvrij staal = $0{,}46 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} (Binas 9)
m_w = massa van het water in de fles = $\rho_w \cdot V$ (Binas 35C1), met:
ρ_w = dichtheid van water = $0{,}998 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 11)
V = volume van het water in de fles = 1,1 L = $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ m^3 (Binas 5)
zodat: $m_w = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-3} = 1{,}10$ kg
m_{rvs} = massa van de roestvrij stalen fles = 0,43 kg
ΔT = temperatuurdaling = (85 – 35) °C = 50 K
Invullen: $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 1{,}1 \cdot 50 + 0{,}46 \cdot 10^3 \cdot 0{,}43 \cdot 50 = 2{,}4 \cdot 10^5$ J

8 Je moet de tabel zo invullen (zie toelichting):

	vast	vloeibaar	gasvormig
A		X	
B	X	X	
C	X		

De temperatuur bij het punt B is het smeltpunt van natriumacetaat. Aan het begin (links) van het horizontale deel van de grafiek is alles nog vloeistof. Aan het eind (rechts) is alle natriumacetaat gestold.

9 Je moet de tabel zo invullen (zie toelichting):

	kruik staat warmte af	kruik staat geen warmte af
A	X	
B	X	
C	X	

In de punten A, B en C is de temperatuur van de kruik hoger dan van de wieg en dus geeft de kruik in alle gevallen warmte af. Ook tijdens het stollen komt warmte vrij.

10 Voor de warmte Q die wordt afgegeven, geldt: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (Binas 35C4) . . . . (1)
Hierin is m de massa, waarvoor geldt: $m = \rho \cdot V$ (Binas 35C1)
m substitueren in vergelijking (1) $\Rightarrow$ $Q = c \cdot (\rho \cdot V) \cdot \Delta T$

11 De warmteafgifte Q is voor beide kruiken gedurende het eerste uur gelijk, want de grafieken vallen samen. Ook bij 70 °C is dat het geval (zie figuur 2).
Er geldt dus: $Q_{water} = Q_{natriumacetaat} \Rightarrow (c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T)_{water} = (c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T)_{natriumacetaat}$
Voor beide kruiken zijn de volumes V en de temperatuurdaling ΔT gelijk.
Voor de dichtheid ρ en de soortelijke warmte c geldt dus:
$c_{water} \cdot \rho_{water} = c_{natriumacetaat} \cdot \rho_{natriumacetaat}$
Uit de tabel kun je aflezen dat de dichtheid ρ van natriumacetaat groter is dan die van water $\Rightarrow$ de soortelijke warmte c van natriumacetaat is kleiner dan die van water.

12 Het belangrijkste warmtetransport in de kruikenmoeder is stroming. Het door het elektrische element verwarmde water komt namelijk in beweging en stroomt langs de buitenkant van de schachten.
Van geleiding is veel minder sprake, omdat het water niet stilstaat. Wel speelt geleiding de enige rol als de warmte wordt getransporteerd door de metalen wand van de schacht.

©ThiemeMeulenhoff

13 De tijdsduur t die nodig is om de 9 kruiken tegelijkertijd op te warmen, volgt uit:
$E = P \cdot t$ (Binas 35D1), waarin:
E = energie die nodig is om 9 kruiken op te warmen = $9 \cdot 7{,}0 \cdot 10^5$ J = $6{,}3 \cdot 10^6$ J
P = vermogen van de kruikenmoeder = 1,2 kW = $1{,}2 \cdot 10^3$ W

Invullen: $6{,}3 \cdot 10^6 = 1{,}2 \cdot 10^3 \cdot t \Rightarrow t = \frac{6{,}3 \cdot 10^6}{1{,}2 \cdot 10^3} = 5{,}25 \cdot 10^3 \text{ s} = \frac{5{,}25 \cdot 10^3}{60} \text{ min} = 88 \text{ min}$

Kelly Kettle

14 De benodigde energie (warmte) Q volgt uit:
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (Binas 35C4), waarin:
c = soortelijke warmte van water (bij T = 20 °C = 293 K) = $4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} (Binas 11)
m = massa van het water

Er geldt: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$ (Binas 35C1), met:

ρ = dichtheid van water (bij T = 20 °C = 293 K) = $0{,}998 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 11)
V = volume van het water = 1,5 L = $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ m^3 (Binas 5)
zodat: $m = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 1{,}497$ kg

ΔT = temperatuurstijging = 100 – 20 = 80 K
Invullen: $Q = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 1{,}497 \cdot 80 = 5{,}01 \cdot 10^5$ J

Volgens Binas 5 is 1 cal = 4,184 J, dus: $Q = \frac{5{,}01 \cdot 10^5}{4{,}184}$ cal = $12 \cdot 10^4$ cal

De uitspraak in de folder klopt dus.

15 Om 1,5 liter water van 20 °C tot 100 °C te verwarmen is een energie nodig van $5{,}01 \cdot 10^5$ J (zie vorige antwoord).
De massa m van droog gras dat daarvoor minimaal nodig is, vinden we met:

$m = \frac{5{,}01 \cdot 10^5}{14{,}7 \cdot 10^6} = 34 \cdot 10^{-3}$ kg = 34 g

16 Voor de warmteoverdracht P geldt: $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$, waarin:
λ = warmtegeleidingscoëfficiënt
A = contactoppervlak
ΔT = temperatuurstijging
d = dikte van de materiaallaag
Beide branders zijn van roestvrij staal gemaakt, dus λ is voor beide branders hetzelfde. Ook de temperatuurstijging ΔT is voor beide branders gelijk.
We veronderstellen dat de materiaaldikte d voor beide branders niet verschilt.
Het contactoppervlak A is bij de Kelly Kettle veel groter dan bij de Bushcooker, dus de warmteoverdracht P is bij de Kelly Kettle groter. Het water kookt in de Kelly Kettle dus eerder dan in de Bushcooker.

17 Het totale benodigde vermogen P volgt uit:

$Q = P \cdot \Delta t \Rightarrow P = \frac{Q}{\Delta t}$ (Binas 35D1), waarin:

Q = hoeveelheid benodigde energie = $5{,}01 \cdot 10^5$ J (zie drie antwoorden terug)
Δt = benodigde tijdsduur = 3,0 min = $3{,}0 \cdot 60$ s = 180 s

Invullen: $P = \frac{5{,}01 \cdot 10^5}{180} = 2{,}78 \cdot 10^3$ J

Elke dompelaar heeft een vermogen van 300 W, dus zijn er nodig:
$\frac{2{,}78 \cdot 10^3}{300} = 9{,}3$, dus 10 dompelaars.

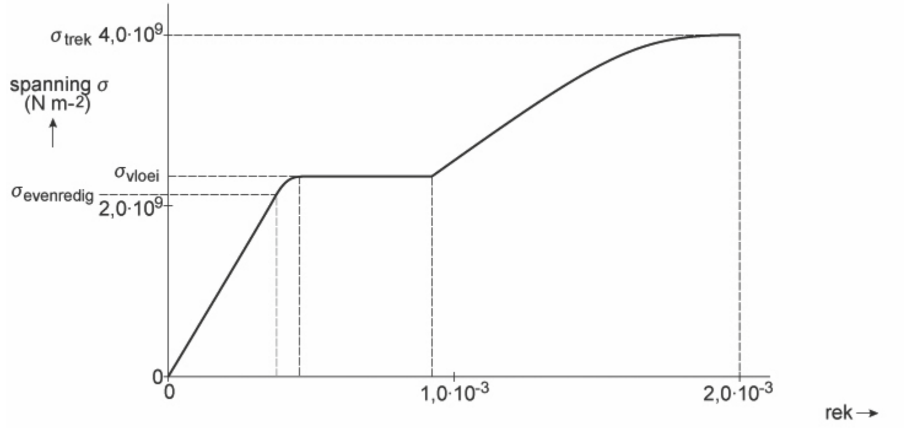
Nerobergbahn

18 Voor de maximale lengteverandering $\Delta\ell$ in het elastische gebied geldt:
$\frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \varepsilon \Rightarrow \Delta\ell = \varepsilon \cdot \ell_0$, waarin:
ε = maximale rek = $0{,}45 \cdot 10^{-3}$ (afgelezen in figuur 3)
ℓ_0 = lengte van de kabel = 450 m
Invullen: $\Delta\ell = 0{,}45 \cdot 10^{-3} \cdot 450 = 0{,}20$ m = 20 cm

19 We berekenen de maximale spankracht F_{max} in het elastische gebied met:
$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \Rightarrow F_{max} = \sigma_{max} \cdot A$, waarin:
σ_{max} = maximale spanning in het elastische gebied = $\sigma_{evenredig,\,max} = 2{,}3 \cdot 10^9$ N m^{-2}
A = doorsnede van de kabel = 6,2 cm^2 = $6{,}2 \cdot 10^{-4}$ m^2

Invullen: $F_{max} = 2{,}3 \cdot 10^9 \cdot 6{,}2 \cdot 10^{-4}$ N = $1{,}4 \cdot 10^6$ N

20 Zie de tekening.



Voor de elasticiteitsmodulus E in het lineaire gebied geldt: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, waarin:
$\sigma = \sigma_{evenredig} = 2{,}1 \cdot 10^9$ N m^{-2}
ε = rek bij $\sigma = \sigma_{evenredig}$ afgelezen in de tekening = $0{,}38 \cdot 10^{-3}$

Invullen: $E = \frac{2{,}1 \cdot 10^9}{0{,}38 \cdot 10^{-3}} = 5{,}5 \cdot 10^{12}$ N m^{-2}

Trein in het web-II

21 De maximale spanning σ_{Sp} in een draad van het spinrag van Spiderman volgt uit:

$\sigma_{Sp} = \frac{F}{A}$ (Binas 35A6), waarin:

F = spankracht in een draad van het spinrag van Spiderman bij maximale uitrekking = $= 1{,}8 \cdot 10^5$ N

A = totale doorsnede van 8 losse draden samen = $8 \cdot \pi \cdot r^2$ (Binas 36B), met:

r = straal van de doorsnede van een losse draad = $\frac{1}{2} \cdot diameter = \frac{1}{2} \cdot 5{,}0$ mm = $= 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $A = 8 \cdot \pi \cdot (2{,}5 \cdot 10^{-3})^2 = 1{,}57 \cdot 10^{-4}$ m^2

Invullen: $\sigma_{Sp} = \frac{1{,}8 \cdot 10^5}{1{,}57 \cdot 10^{-4}} = 1{,}15 \cdot 10^9$ Pa

De maximale spanning σ_{na} in een draad van het sterkste spinrag in de natuur volgt uit: $E = \frac{\sigma_{na}}{\varepsilon} \Rightarrow \sigma_{na} = \varepsilon \cdot E$ (Binas 35A6), waarin:

ε = relatieve rek van de draad = 40

E = elasticiteitsmodulus van de draad = 12 GPa = $12 \cdot 10^9$ Pa

Invullen: $\sigma_{na} = 40 \cdot 12 \cdot 10^9 = 4{,}8 \cdot 10^{11}$ Pa

Dus: $\sigma_{Sp} = 1{,}15 \cdot 10^9$ Pa $< \sigma_{na} = 4{,}8 \cdot 10^{11}$ Pa

Het spinrag dat in de natuur wordt gevonden is dus sterker dan dat van Spiderman.

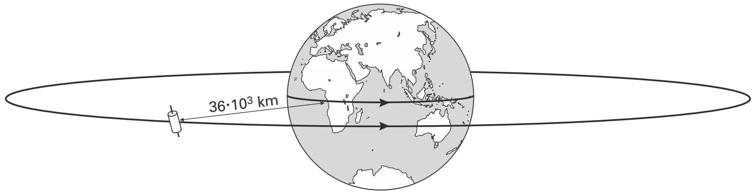
©ThiemeMeulenhoff

7 Zonnestelsel en heelal

Satellieten

Er draaien tegenwoordig veel satellieten om de aarde. Sommige van deze satellieten beschrijven een zogenoemde geostationaire baan.
Geostationaire satellieten bevinden zich op $36 \cdot 10^3$ km van de aarde, precies boven de evenaar. Zie figuur 1. Hun omlooptijd is gelijk aan één aardse dag, zodat het vanaf de aarde lijkt alsof de satelliet stilstaat.

figuur 1

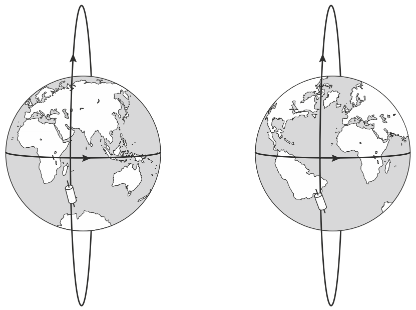


De communicatiesatelliet Astra beschrijft zo'n geostationaire baan.

1 Bereken de snelheid waarmee Astra zijn baan beschrijft. Geef de uitkomst in twee significante cijfers.

Er zijn ook satellieten die polaire banen beschrijven. Deze satellieten bewegen van pool naar pool op betrekkelijk kleine hoogte. Terwijl de satelliet zijn baan beschrijft, draait de aarde om zijn as ten opzichte van het vlak waarin de satelliet beweegt. Zie figuur 2. Een bepaalde satelliet heeft een omlooptijd van $6{,}1 \cdot 10^3$ s.

figuur 2



2 Bereken hoeveel graden de aarde om zijn as draait in één omlooptijd van de satelliet.

Voor het maken van landkaarten of voor spionagedoeleinden worden meestal satellieten gebruikt die een polaire baan beschrijven.
Voor dergelijke waarnemingssatellieten is een polaire baan geschikter dan een geostationaire baan.

3 Noem daarvoor twee argumenten.

©ThiemeMeulenhoff

Nieuwe exoplaneet ontdekt

Op 3 februari 2009 meldde ESA (European Space Agency) de ontdekking van de exoplaneet Corot-exo-7b. Een exoplaneet is een planeet die niet om de zon maar om een (andere) ster draait, een planeet in een ander zonnestelsel dus.
In de tabel hieronder staat een aantal gegevens van deze planeet en zijn 'zon'.

Naam ster	Corot-exo-7	**Naam planeet**	Corot-exo-7b
afstand	140 pc	ontdekt in	2009
type	K0V	massa	5 à $10M_{\text{aarde}}$
schijnbare magnitude	11,7	straal planeet	$1{,}8R_{\text{aarde}}$
leeftijd	$1{,}1 \cdot 10^9$ jaar	straal planeetbaan	$2{,}54 \cdot 10^9$ m
effectieve temperatuur	5300 K	omlooptijd	0,83 dagen

De afstand tussen ons en de ster is uitgedrukt in parsec (pc). Behalve de parsec wordt ook de eenheid lichtjaar gebruikt om afstanden in het heelal aan te geven.

4 Reken met behulp van Binas de afstand tot Corot-exo-7 om in lichtjaar.

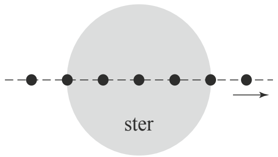
Corot-exo-7b is de kleinste exoplaneet die tot nu toe is waargenomen. Zijn straal is maar 1,8 maal zo groot als die van de aarde. (Voor het volume van een bol met straal r geldt $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.)

Over de massa van de planeet bestaat nog veel onzekerheid. Zie de tabel. Veronderstel dat de exoplaneet 'aardachtig' is, dat wil zeggen dat de dichtheid van de planeet (ongeveer) gelijk is aan die van de aarde.

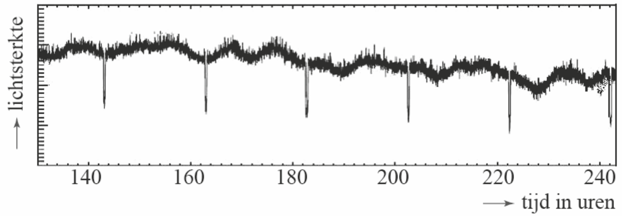
5 Hoe groot is in dat geval de massa van de planeet, uitgedrukt in de massa van de aarde? Licht je antwoord toe.

Corot-exo-7b is ontdekt met behulp van de transitmethode. Telkens als de planeet in zijn baan voor de ster langs komt (zie figuur 1), dekt hij een klein deel van de ster af. Daardoor verandert de lichtsterkte van de ster periodiek. Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Een 'jaar' duurt op deze planeet erg kort.

6 Bepaal met behulp van figuur 2 hoe lang een 'jaar' op deze planeet duurt. Ga na of je antwoord overeenkomt met de waarde die in de tabel is opgegeven.

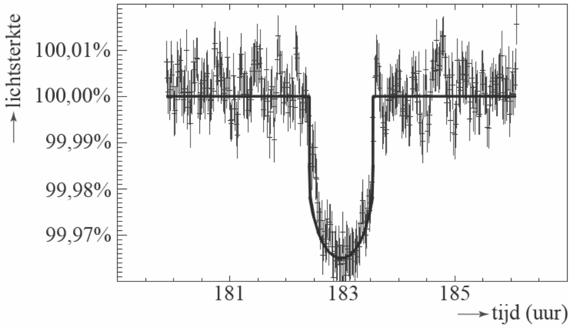
©ThiemeMeulenhoff

Uit de gegevens in de tabel kan men berekenen dat de baansnelheid van de exoplaneet $2{,}2 \cdot 10^2$ km s^{-1} is.

7 Voer die berekening uit.

In figuur 3 is een deel van figuur 2 uitvergroot. De getrokken lijn is de trendlijn door de meetpunten.

figuur 3



8 Bepaal met behulp van figuur 3 de diameter van de ster. Neem daarbij aan dat de diameter van de planeet te verwaarlozen is ten opzichte van de diameter van de ster.

In de tabel staat de effectieve temperatuur (oppervlaktetemperatuur) van de ster waar de planeet omheen draait.

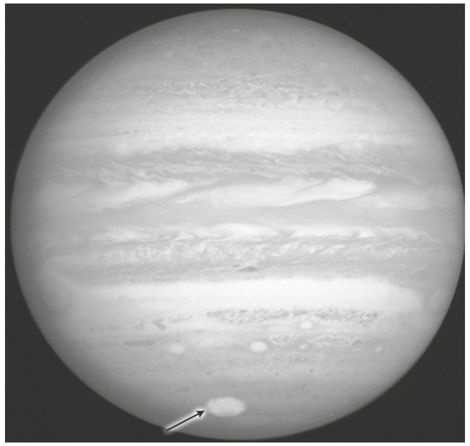
9 Is de kleur van deze ster roder of blauwer dan die van de zon? Licht je antwoord toe.

Blauw oog voor Jupiter

Op 20 juli 2009 werd de planeet Jupiter getroffen door een onbekend object. Alex en Inge lazen de volgende dag een artikel in de krant over deze inslag. Lees dit artikel en bekijk de foto.

'Blauw oog' voor Jupiter

De planeet Jupiter heeft sinds enkele dagen een litteken, nadat een onbekend object met grote snelheid vlakbij de zuidpool is ingeslagen. De diameter van het litteken is groter dan de diameter van de aarde. Astronomen denken dat het object een komeet met een diameter van 40 km en een massa van $2 \cdot 10^{12}$ kg geweest zou kunnen zijn. Men schat dat hij met een snelheid van ongeveer 30 kilometer per seconde tegen Jupiter is gebotst.

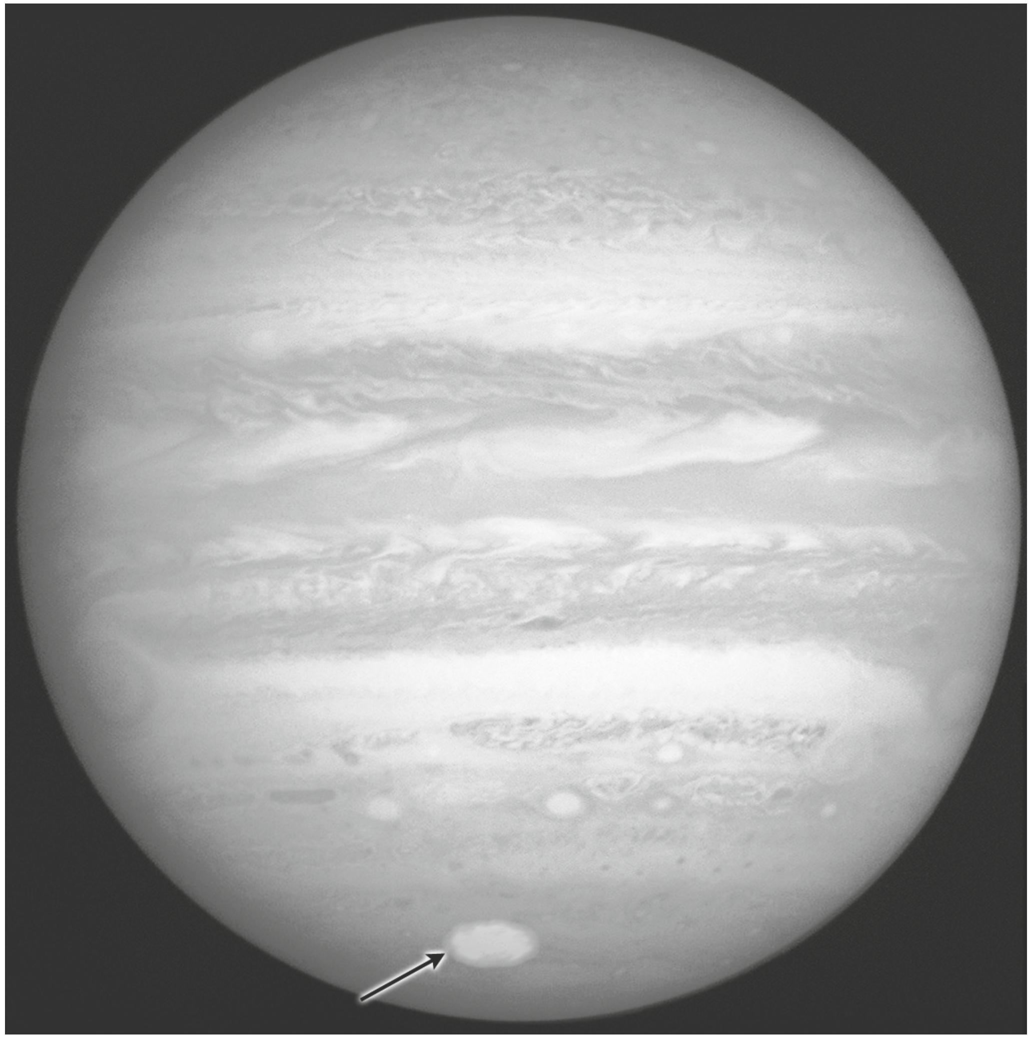


©ThiemeMeulenhoff

In het artikel wordt beweerd dat de diameter van het litteken van de inslag groter is dan de diameter van de aarde. Alex en Inge willen aan de hand van de foto nagaan of deze bewering klopt. Op de uitwerkbijlage is deze foto vergroot weergegeven. Het litteken van de inslag is hierop met een pijltje aangegeven.

10 Ga met behulp van de uitwerkbijlage na of de diameter van het litteken groter is dan de diameter van de aarde.

uitwerkbijlage bij vraag 10



Veronderstel dat alle kinetische energie van de komeet die bij de inslag vrijkomt, gebruikt zou kunnen worden als elektrische energie.
Een Nederlands huishouden gebruikt per jaar gemiddeld 4500 kWh elektrische energie. Er zijn 6 miljoen huishoudens in Nederland.

11 Hoe lang zouden alle Nederlandse huishoudens samen met de energie die vrijkomt bij de inslag kunnen doen?

Alex en Inge willen naar aanleiding van deze gebeurtenis meer te weten komen over Jupiter. Inge berekent de snelheid waarmee een punt op de evenaar van de aarde ronddraait. Zij vindt daarvoor $1{,}7 \cdot 10^3$ km h^{-1}.
Een punt op de evenaar van Jupiter draait rond in 0,413 d. Inge beweert dat de snelheid van een punt op de evenaar van Jupiter groter is dan $1{,}7 \cdot 10^3$ km h^{-1}.

12 Beredeneer (of bereken) of Inge gelijk heeft.

Zowel de aarde als Jupiter draaien om de zon. Alex neemt aan dat de banen cirkelvormig zijn. Hij berekent dat de aarde met een snelheid van 30 km s^{-1} om de zon draait. Alex beweert dat Jupiter met een grotere snelheid om de zon draait dan de aarde.

13 Beredeneer (of bereken) of Alex gelijk heeft.

Jupiter heeft een veel grotere massa dan de aarde en staat veel verder weg van de zon dan de aarde.

14 Beredeneer (of bereken) of de gravitatiekracht van de zon op Jupiter groter of kleiner is dan de gravitatiekracht van de zon op de aarde.

Inge heeft thuis een weegschaal die 62 kg aanwijst als zij er op staat. In de weegschaal zit een veer die wordt ingedrukt bij belasting. Inge vraagt zich af wat de weegschaal zou aanwijzen als zij op het oppervlak van Jupiter op deze weegschaal zou kunnen staan.

15 Beantwoord de volgende vragen:
- Hoe groot is de massa van Inge op Jupiter?
- Bereken hoeveel de weegschaal op Jupiter zou aanwijzen als Inge er daar op zou kunnen staan.

Alex leest op het internet dat de Italiaanse wetenschapper Galileo Galilei in 1610 de vier grootste manen van Jupiter ontdekte. Galilei besefte dat deze ontdekking belangrijk was voor de vraag of ons zonnestelsel voldoet aan het geocentrisch wereldbeeld of aan het heliocentrisch wereldbeeld.

16 Welk van deze twee wereldbeelden werd met deze ontdekking onderuitgehaald? Licht je antwoord toe.

Hints bij hoofdstuk 7

1 Bereken eerste de baanstraal van Astra.
2 Hoe verhouden de omlooptijden van de satelliet en van de aarde zich?
3 Denk aan afstand en plaats boven de aarde.
4 Zie Binas 5.
5 Gebruik $m = \rho \cdot V$
6 Gebruik de eerste en de zesde transit in figuur 2 voor je berekening.
7 Wat is het verband tussen v, r en T?
8 Hoe lang doet de planeet erover om voor de ster langs te gaan?
9 Gebruik de wet van Wien.
10 Meet in de uitwerkbijlage de diameters van Jupiter en van het litteken op.
11 Zie Binas 35A4.
12 Vergelijk de stralen en de rotatieperioden van Jupiter en de aarde met elkaar.
13 Vergelijk de baanstralen en de omlooptijden van Jupiter en de aarde met elkaar.
14 Zie Binas 35A3.
15 Vergelijk de gravitatieversnelling op Jupiter en op aarde met elkaar.
16 Waar ging men bij het geocentrisch wereldbeeld vanuit?

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij hoofdstuk 7

Satellieten

1 De baansnelheid v van Astra vinden we uit: $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2), waarin:
r = baanstraal van Astra = $R + h$, met:
R = straal van de evenaar = $6{,}378 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
h = hoogte van de satelliet boven de evenaar = $36 \cdot 10^3$ km = $36 \cdot 10^6$ m
zodat: $r = 6{,}378 \cdot 10^6 + 36 \cdot 10^6 = 42{,}4 \cdot 10^6$ m
T = omlooptijd van Astra = 0,9973 d = $0{,}9973 \cdot 24 \cdot 3600$ s = $8{,}617 \cdot 10^4$ s (Binas 31)
Invullen: $v = \frac{2\pi \cdot 42{,}4 \cdot 10^6}{8{,}617 \cdot 10^4} = 3{,}1 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$

2 In één dag draait de aarde eenmaal (= 360°) om zijn as. De hoek α die de aarde dus in één omlooptijd T_s van de satelliet draait, vinden we uit: $\alpha = \frac{T_s}{T_a} \cdot 360°$, met:
T_s = omlooptijd van Astra = $6{,}1 \cdot 10^3$ s
T_a = omlooptijd van de aarde om zijn as = $8{,}615 \cdot 10^4$ s (zie antwoord 1)
Invullen: $\alpha = \frac{6{,}1 \cdot 10^3}{8{,}615 \cdot 10^4} = 25°$

3 Geostationaire satellieten bevinden zich constant boven één bepaald punt van de evenaar en kunnen dus slechts een klein stukje van de aarde waarnemen, terwijl polaire satellieten zich in de loop der tijd boven elk willekeurig punt van de aarde bevinden.
De afstand van polaire satellieten tot de aarde is veel kleiner dan die van geostationaire satellieten. Polaire satellieten kunnen dus veel meer details waarnemen.

Nieuwe exoplaneet ontdekt

4 Volgens Binas 5 geldt: 1 parsec = 1 pc = $3{,}08572 \cdot 10^{16}$ m en 1 lichtjaar = $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m.
Voor de afstand s tussen ons en de ster geldt volgens de tabel:
$s = 140 \text{ pc} = 140 \cdot 3{,}08572 \cdot 10^{16} \text{ m} = 4{,}320008 \cdot 10^{18} \text{ m} = \frac{4{,}320008 \cdot 10^{18}}{9{,}461 \cdot 10^{15}}$ lichtjaar =
= 457 lichtjaar

5 Voor de massa m_p van de planeet geldt: $m_p = \rho_p \cdot V_p$ (Binas 35C1), waarin:
ρ_p = dichtheid van de planeet; we veronderstellen: $\rho_p = \rho_a$
(ρ_a is de (gemiddelde) dichtheid van de aarde)
V_p = volume van de planeet = $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_p^3$ (r_p is de straal van de planeet)
$= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (1{,}8 \cdot r_a^3) = 5{,}8 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_a^3 = 5{,}8 \cdot V_a$
(r_a is de straal van de aarde en V_a is het volume van de aarde)
Invullen: $m_p = \rho_a \cdot 5{,}8 \cdot V_a = 5{,}8 \cdot M_a$ (M_a is de massa van de aarde)

©ThiemeMeulenhoff

6 Een 'jaar' op deze planeet, dus de (omloop)tijd T, is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende transits (twee opeenvolgende afnamen van de lichtsterkte van de ster).
Aflezen van de tijd tussen de eerste en zesde transit in figuur 2 geeft:

$T = \frac{242 - 143}{5} = \frac{99}{5} = 19{,}8 \text{ h} = \frac{19{,}8}{24} = 0{,}83 \text{ dag} \Rightarrow$ dit stemt overeen met de tabel.

7 We vinden de baansnelheid v van de planeet uit: $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ (Binas 35A2), waarin:

r = straal van de planeetbaan = $2{,}54 \cdot 10^9$ m (zie tabel)
T = omlooptijd = 0,83 dagen = $0{,}83 \cdot 24 \cdot 3600$ (zie tabel) = $7{,}17 \cdot 10^4$ s

Invullen: $v = \frac{2\pi \cdot 2{,}54 \cdot 10^9}{7{,}17 \cdot 10^4} = 2{,}2 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1} = 2{,}2 \cdot 10^2 \text{ km s}^{-1}$

8 De diameter d van de ster vinden we uit: $d = v \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
v = snelheid waarmee de 'donkere vlek' zich langs de ster beweegt (zie figuur 1); deze snelheid is vrijwel gelijk aan de baansnelheid van de planeet = $2{,}2 \cdot 10^2 \text{ km s}^{-1}$
t = tijd waarin de lichtsterkte van de ster kleiner is = 183,5 – 182,4 = 1,1 h (afgelezen in figuur 3) = $1{,}1 \cdot 3600$ s = $3{,}96 \cdot 10^3$ s
Invullen: $d = 2{,}2 \cdot 10^2 \cdot 3{,}96 \cdot 10^3 = 9 \cdot 10^5$ km

9 De effectieve temperatuur T_{eff} van de zon is $5{,}78 \cdot 10^3$ K (Binas 32B).
De golflengte λ_{max} van het door de ster uitgezonden licht dat hoort bij T_{eff} vinden we uit de wet van Wien: $\lambda_{max} \cdot T_{eff} = k_w$, met k_w = constante van Wien (Binas 35E1).
De effectieve temperatuur van de ster Corot-exo-7 is 5300 K.
Deze temperatuur is lager dan de effectieve temperatuur van de zon, dus volgens de wet van Wien is de golflengte van het door de ster uitgezonden licht groter dan die van de zon. De ster Corot-exo-7 is dus roder dan de zon (Binas 19A).

Blauw oog voor Jupiter

10 We berekenen de diameter d_ℓ van het litteken met:.

$\frac{d_\ell}{d_J} = \frac{d_{\ell,foto}}{d_{J,foto}} \Rightarrow d_\ell = \frac{d_{\ell,foto}}{d_{J,foto}} \cdot d_J$, waarin:

d_J = diameter van Jupiter = 2 · straal van Jupiter = $= 2 \cdot 69{,}91 \cdot 10^6 = 1{,}398 \cdot 10^8$ m (Binas 31)
$d_{\ell,foto}$ = diameter van het litteken op de foto van de bijlage = 1,1 cm
$d_{J,foto}$ = diameter van Jupiter op de foto van de bijlage = 13,3 cm

Invullen: $d_\ell = \frac{1{,}1}{13{,}3} \cdot 1{,}398 \cdot 10^8 = 1{,}16 \cdot 10^7$ m

De straal van de aarde is $6{,}378 \cdot 10^6$ m (Binas 31), dus de diameter van de aarde is: $2 \cdot 6{,}378 \cdot 10^6 \text{ m} = 1{,}276 \cdot 10^7$ m.
De diameter van het litteken is dus niet groter dan de diameter van de aarde.

11 De tijd t die alle Nederlandse huishoudens zouden kunnen doen met de energie die vrijkwam bij de inslag, volgt uit:

$E_k = P_{Ned,jaar} \cdot t \Rightarrow t = \frac{E_k}{P_{Ned,jaar}}$ (Binas 35A4), waarin:

E_k = kinetische energie van de komeet vlak voor de inslag = $= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4), met:
m = massa van de komeet = $2 \cdot 10^{12}$ kg
v = snelheid van de komeet = 30 km s^{-1} = $3{,}0 \cdot 10^4$ m s^{-1}
zodat: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{12} \cdot (3{,}0 \cdot 10^4)^2 = 9{,}0 \cdot 10^{20} \text{ J} = \frac{9{,}0 \cdot 10^{20}}{3{,}6 \cdot 10^6}$ kWh (Binas 5) = $= 2{,}5 \cdot 10^{14}$ kWh
$P_{Ned,jaar}$ = totaal door de Nederlandse huishoudens in één jaar afgenomen vermogen = $= 6 \cdot 10^6 \cdot 4500 \text{ kWh y}^{-1} = 2{,}7 \cdot 10^{10} \text{ kWh y}^{-1}$

Invullen: $t = \frac{2{,}5 \cdot 10^{14}}{2{,}7 \cdot 10^{10}} = 9 \cdot 10^3$ y

12 *methode 1* (directe berekening)
We berekenen de snelheid v_J van een punt op de evenaar van Jupiter met:

$v_J = \frac{2\pi \cdot r_J}{T_J}$ (Binas 35A2), waarin:

r_J = straal van Jupiter = $69{,}91 \cdot 10^6$ m (Binas 31) = $69{,}91 \cdot 10^3$ km
T_J = rotatieperiode van Jupiter = 0,413 d = $0{,}413 \cdot 24$ h = 9,91 h

Invullen: $v_J = \frac{2\pi \cdot 69{,}91 \cdot 10^3}{9{,}91} = 4{,}43 \cdot 10^4 \text{ km h}^{-1}$

Dit is groter dan $1{,}7 \cdot 10^3 \text{ km h}^{-1} \Rightarrow$ Inge heeft gelijk.

methode 2 (snelheden vergelijken)
Voor de snelheid v_J van een punt op de evenaar van Jupiter geldt: $v_J = \frac{2\pi \cdot r_J}{T_J}$ (Binas 35A2), waarin:
r_J = straal van Jupiter = $69{,}91 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
De straal van de aarde is $r_A = 6{,}378 \cdot 10^6$ m (Binas 31) $\Rightarrow$

$\Rightarrow r_J = \frac{69{,}91 \cdot 10^6}{6{,}378 \cdot 10^6} \cdot r_A = 11{,}0 \cdot r_A$

T_J = omwentelingstijd van Jupiter = 0,413 d
De omwentelingstijd T_A van de aarde is 1,000 d $\Rightarrow T_J = 0{,}413 \cdot T_A$

Invullen: $v_J = \frac{2\pi \cdot 11{,}0 \cdot r_A}{0{,}413 \cdot T_A} = 26{,}6 \cdot \frac{2\pi \cdot r_A}{T_A} = 26{,}6 \cdot v_A$ (Binas 35A2) $\Rightarrow$ Inge heeft gelijk.

13 Voor de snelheid v_J van Jupiter om de zon geldt: $v_J = \frac{2\pi \cdot r_J}{T_J}$ (Binas 35A2), waarin:

r_J = baanstraal van Jupiter = $0{,}7883 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)
De baanstraal van de aarde is $r_A = 0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31) $\Rightarrow$

$\Rightarrow r_J = \frac{0{,}7883 \cdot 10^{12}}{0{,}1496 \cdot 10^{12}} \cdot r_A = 5{,}27 \cdot r_A$

T_J = omlooptijd van Jupiter = 11,86 y (Binas 31)
De omlooptijd T_A van de aarde om de zon is 1,000 y $\Rightarrow T_J = 11{,}86 \cdot T_A$

Invullen: $v_J = \frac{2\pi \cdot 5{,}27 \cdot r_A}{11{,}86 \cdot T_A} = 0{,}444 \cdot \frac{2\pi \cdot r_A}{T_A} = 0{,}444 \cdot v_A$ (Binas 35A2) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ Alex heeft geen gelijk.

14 Voor de gravitatiekracht F_{ZJ} die de zon op Jupiter uitoefent, geldt:

$F_{ZJ} = G \cdot \dfrac{m_J \cdot m_Z}{r_{JZ}^2}$ (Binas 35A5), waarin:

G = gravitatieconstante; m_J = massa Jupiter; m_Z = massa van de zon en

r_{JZ} = baanstraal van Jupiter

Voor de gravitatiekracht F_{ZA} die de zon op de aarde uitoefent, geldt:

$F_{ZA} = G \cdot \dfrac{m_A \cdot m_Z}{r_{AZ}^2}$ (Binas 35A5), waarin:

m_A = massa van de aarde; m_Z = massa van de zon en

r_{AZ} = baanstraal van de aarde

$$\Rightarrow \frac{F_{ZJ}}{F_{ZA}} = \frac{G \cdot \dfrac{m_J \cdot m_Z}{r_{JZ}^2}}{G \cdot \dfrac{m_A \cdot m_Z}{r_{AZ}^2}} = \frac{m_J}{m_A} \cdot \frac{r_{AZ}^2}{r_{JZ}^2} = \frac{1900 \cdot 10^{24}}{5{,}972 \cdot 10^{24}} \cdot \frac{(0{,}1496 \cdot 10^{12})^2}{(0{,}7883 \cdot 10^{12})^2} = 11{,}5 \quad \text{(Binas 31)}$$

De gravitatiekracht van de zon op Jupiter is dus 11,5 maal zo groot als de gravitatiekracht van de zon op de aarde.

15
- De massa van Inge op Jupiter is ook 62 kg.
  Massa is hoeveelheid materie en die is overal gelijk.
- De zwaartekracht op Inge is op Jupiter echter veel groter ($F_z = m \cdot g$; Binas 35A3).
  De gravitatieversnelling g aan het oppervlak van Jupiter bedraagt 24,9 m s^{-2} (Binas 31) en aan het oppervlak van de aarde 9,81 m s^{-2} (Binas 7A).
  De veer van de weegschaal wordt op Jupiter dus $\dfrac{24{,}9}{9{,}81} = 2{,}54$ maal zo ver ingedrukt als op aarde. De weegschaal wijst dus 2,54 · 62 kg = 157 kg aan.

16 In het geocentrisch wereldbeeld draaien alle planeten en manen om de aarde. Galileo Galilei ontdekte dat er om Jupiter vier manen draaien. Deze manen draaien dus niet om de aarde. Met deze ontdekking werd het geocentrisch wereldbeeld dus onderuitgehaald.

©ThiemeMeulenhoff

8 Gebruik van elektriciteit

Wisselverwarming

Een trein kan met een wissel van het ene spoor naar het andere spoor geleid worden. Een wissel bestaat uit een beweegbaar deel en een vast deel. Zie figuur 1. In de winter kan er sneeuw en ijs tussen deze delen komen, waardoor de wissel niet meer werkt.

figuur 1

figuur 2

Om problemen met sneeuw en ijs te voorkomen zijn sommige wissels voorzien van een elektrisch verwarmingselement. Dit element bestaat uit twee verwarmingslinten die boven elkaar op een spoorstaaf gemonteerd zijn en parallel aangesloten zijn op een spanning van 230 V. Zie figuur 2.

Eén verwarmingslint heeft een weerstand van 44,1 Ω.

1 Bereken het vermogen van het verwarmingselement.

In een verwarmingslint zit een magnesiumdraad. De lengte en de doorsnede van deze draad bepalen het vermogen van het verwarmingslint.

2 Welke combinatie van lengte en doorsnede van de magnesiumdraad geeft het grootste vermogen?

A een kleine lengte en een kleine doorsnede
B een kleine lengte en een grote doorsnede
C een grote lengte en een kleine doorsnede
D een grote lengte en een grote doorsnede

De magnesiumdraad heeft een lengte van 20 m.

3 Bereken de diameter van de magnesiumdraad.

©ThiemeMeulenhoff

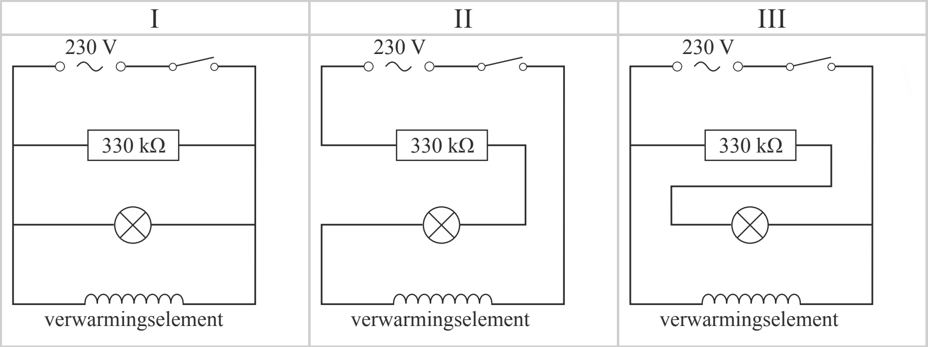
Frituurpan

Twan onderzoekt een frituurpan die aangesloten kan worden op het lichtnet (230 V). Op het typeplaatje van de pan staat dat het elektrisch vermogen 1,8 kW is.

4 Bereken de stroomsterkte die het lichtnet aan de pan levert als de pan is ingeschakeld.

Op de frituurpan zit een neonlampje dat brandt als het verwarmingselement met een schakelaar is ingeschakeld. Het neonlampje brandt op een spanning van 90 V. In de schakeling is ook een weerstand van 330 kΩ opgenomen. Het vermogen van het neonlampje is te verwaarlozen ten opzichte van het vermogen van het verwarmingselement. In figuur 1 zijn drie mogelijke schema's van deze schakeling getekend.

figuur 1



5 Leg uit welke twee schema's niet juist zijn.

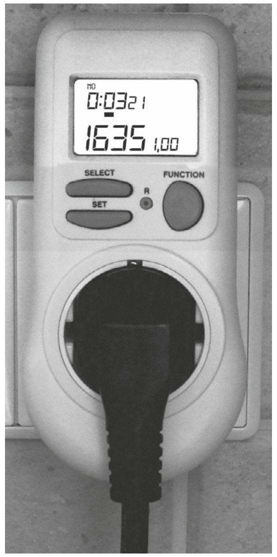
Twan neemt de pan mee naar de schuur. Daar sluit hij de pan aan op een stopcontact dat is aangelegd met een kabel vanuit het huis. De lengte van deze kabel is 60 m. De doorsnede van één koperdraad in de kabel is 2,5 mm^2. De weerstand van deze ene koperdraad is 0,41 Ω.

6 Toon dit aan met een berekening.

©ThiemeMeulenhoff

Voor zijn onderzoek gebruikt Twan een meter waarmee stroomsterkte, spanning en vermogen gemeten kunnen worden. Zie figuur 2. Hij meet de stroomsterkte door, de spanning over en het vermogen van de frituurpan als de pan is uitgeschakeld en als de pan is ingeschakeld. De resultaten van zijn metingen staan in tabel 1.

figuur 2



tabel 1

frituurpan	U (V)	I (A)	P (W)
uitgeschakeld	230	0	0
ingeschakeld	224	7,3	1635

Het valt hem op dat de spanning daalt als hij de pan inschakelt. Twan veronderstelt dat deze daling van de spanning wordt veroorzaakt door de weerstand van de kabel naar de schuur.

7 Ga met een berekening na of Twans veronderstelling juist is. Gebruik hierbij ook de gegevens uit tabel 1.

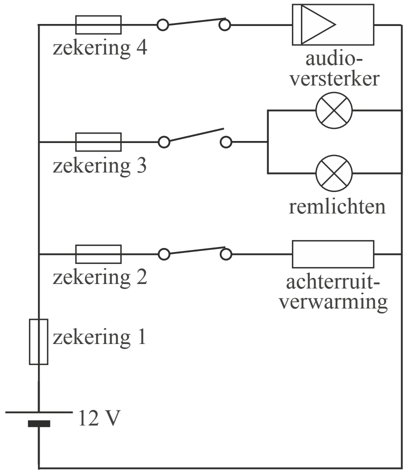
Door veroudering zal de weerstand van de nichroomdraad van het verwarmingselement in de frituurpan toenemen.

8 Wordt het vermogen van het verwarmingselement daardoor groter, kleiner of blijft het gelijk? Licht je antwoord toe met behulp van formule(s).

Zekeringen in een auto

Op een koude winterdag heeft een automobilist de achterruitverwarming en de audioversterker in zijn auto aangezet. In figuur 1 is een deel van de elektrische installatie van de auto schematisch weergegeven. Als de bestuurder op de rem trapt, sluit de schakelaar achter zekering 3 en gaan beide remlichten branden. De remlichten hebben ieder een vermogen van 21 W. De accu levert een constante spanning van 12 V.

figuur 1



9 Bereken de stroomsterkte die dan door zekering 3 loopt.

Als de bestuurder niet meer remt, gaat de schakelaar achter zekering 3 weer open.

10 Beantwoord de volgende vragen:
- Is de stroomsterkte door zekering 2 nu kleiner geworden, gelijk gebleven of groter geworden?
- Is de stroomsterkte door zekering 1 nu kleiner geworden, gelijk gebleven of groter geworden?

©ThiemeMeulenhoff

De weerstand van de achterruitverwarming is 0,900 Ω; de weerstand van de draden tussen de accu en de achterruitverwarming is 0,022 Ω.
De achterruitverwarming staat aan.

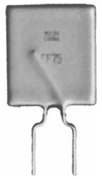
11 Bereken het elektrische vermogen van de achterruitverwarming.

De eigenaar van de auto besluit een nieuwe audioversterker met een vermogen van 420 W aan te sluiten. Hij vervangt hiervoor zekering 4 van 20 A door een zekering van 40 A.
In de handleiding van de audioversterker staat een opmerking dat nu ook andere, dikkere, aansluitdraden naar de accu getrokken moeten worden.

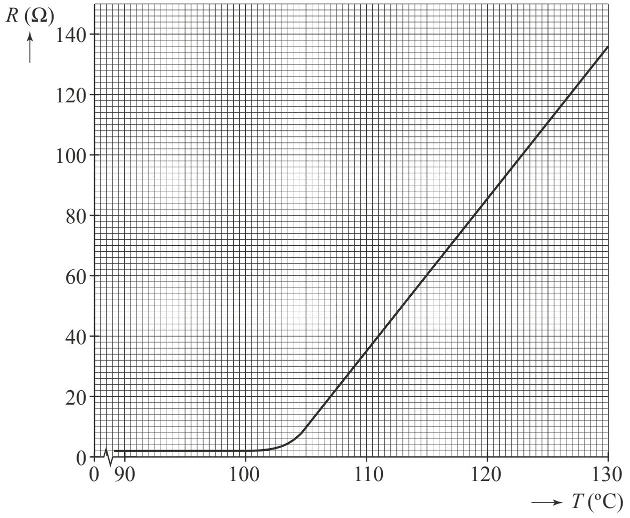
12 Leg uit dat:
- de grootte van de nieuwe zekering van 40 A goed gekozen is,
- de opmerking in de handleiding over brandveiligheid gaat.

Soms worden, in plaats van smeltzekeringen PPTC-weerstanden (Polymeer Positieve Temperatuur Coëfficiënt) als zekering gebruikt. Zie figuur 2.
In figuur 3 is de weerstand *R* van zo'n PPTC-weerstand gegeven als functie van de temperatuur *T*.

figuur 2



figuur 3



In de schakeling van figuur 1 wordt zekering 1 vervangen door een PPTC-weerstand waarvan de weerstand verandert zoals in figuur 3 is weergegeven.
Op een bepaald moment vindt er kortsluiting plaats in de remlichten.
De weerstand van de remlichten is dan gelijk aan nul.
Zolang de kortsluiting niet verholpen wordt, is de temperatuur van de PPTC-weerstand minstens 120 °C.

13 Beantwoord de volgende vragen:
- Bepaal de stroomsterkte door de PPTC-weerstand bij 120 °C tijdens een kortsluiting.
- Leg uit dat de PPTC-weerstand bij kortsluiting in de remlichten voorkomt dat er gedurende lange tijd een grote stroomsterkte door de kabels loopt.

©ThiemeMeulenhoff

Kerstboomlampjes

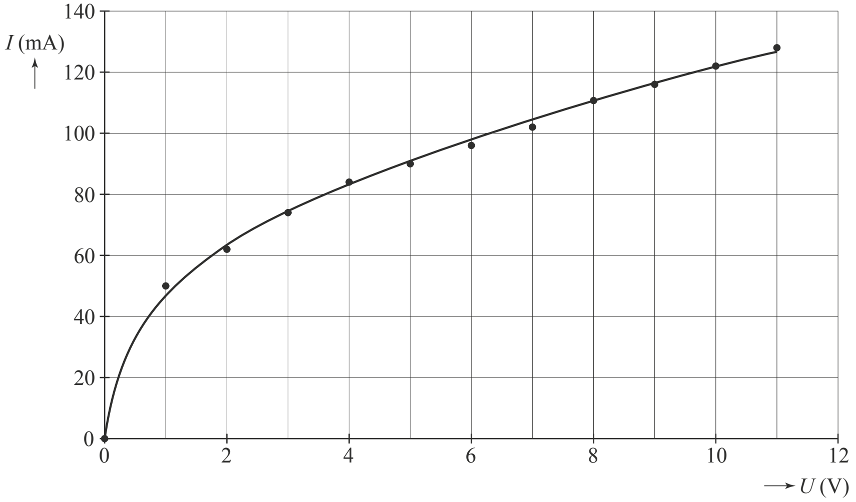
Karin heeft op zolder een kerstboomverlichting gevonden die bestaat uit 24 lampjes die in serie zijn geschakeld.
De verlichting moet worden aangesloten op een stopcontact van 230 V.

Het is vervelend als er één lampje stuk gaat, want dan zijn er twee problemen:
- alle lampjes gaan uit en
- je weet niet welk lampje stuk is.

Karin wil daar een oplossing voor bedenken.

Zij begint met het maken van een (*U*,*I*)-karakteristiek van één van de lampjes.
Het resultaat van de meting is de grafiek van figuur 1.

figuur 1



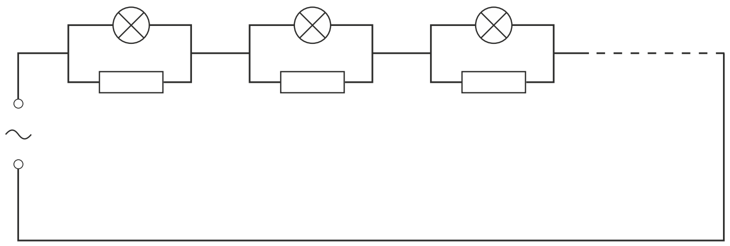
Als het lampje normaal brandt, is de weerstand 80 Ω.

14 Toon dit aan met behulp van figuur 1.

©ThiemeMeulenhoff

Karin komt op het idee om parallel aan elk lampje een weerstand te schakelen, zodat de schakeling van figuur 2 ontstaat.

figuur 2



Volgens haar kunnen beide problemen met deze schakeling worden opgelost omdat de stroomkring niet verbroken wordt als één lampje stuk gaat.
Karin moet een keuze maken voor de grootte van de parallel geschakelde weerstanden. Zij kan kiezen tussen weerstanden van 2,0 Ω of weerstanden van 2,0 kΩ.

15 Leg uit dat in beide gevallen alle lampjes op de normale sterkte branden.

Zij besluit eerst de weerstanden van 2,0 Ω te gebruiken. Om het stuk gaan van één lampje na te bootsen, draait zij één lampje los. De overige lampjes blijven (vrijwel) hetzelfde branden. Beide problemen lijken hiermee opgelost.
Als Karin het vermogen berekent dat in de schakeling wordt omgezet, is zij zo ontevreden dat zij dit ontwerp afkeurt.

16 Licht haar besluit toe met een berekening van het totaal ontwikkelde vermogen als alle lampjes in deze schakeling branden.

Karin gebruikt nu voor elke parallelle weerstand een weerstand van 2,0 kΩ. Opnieuw draait zij één lampje los. Tot haar teleurstelling ziet zij dat de andere lampjes nu nog maar nauwelijks gloeien.

17 Geef hiervoor een verklaring. Bereken hiervoor eerst de totale weerstand.

Karin geeft het nog niet op. Het blijkt dat het gebruik van NTC weerstanden, die bij kamertemperatuur een weerstand hebben van 2,0 kΩ en bij hoge temperatuur 2,0 Ω, een oplossing bieden voor alle problemen die zij tot nu toe ondervonden heeft.

18 Leg uit dat nu:
- alle lampjes normaal blijven branden;
- het vermogen niet te hoog is.

Hints bij hoofdstuk 8

1 Gebruik de wet van Ohm.

2 Hoe hangt de weerstand *R* af van de lengte en de doorsnede van de draad?

3 Wat is het verband tussen ρ, R, A en ℓ ?

4 Gebruik de wet van Ohm.

5 Schema I: let op U_{lampje}; schema II: let op $U_{verwarmingselement}$.

6 Zie Binas 35D1.

7 Bereken de spanning over de twee draden in de kabel.

8 Gebruik $U = I \cdot R$ en $P = U \cdot I$.

9 Zijn de remlichten in serie of parallel geschakeld?

10 Verandert de spanning over de achterruitverwarming?

11 Bereken de stroomsterkte in de stroomkring van de achterruitverwarming.

12 Bereken de stroomsterkte door de nieuwe versterker; wat is het verschil in weerstand tussen een dikke en een dunne draad?

13 Hoe luidt de wet van Ohm; neemt de temperatuur in de PPTC-weerstand toe of af bij kortsluiting?

14 Gebruik de wet van Ohm voor één lampje.

15 Wat weet je van de 24 vervangingsweerstanden?

16 Wat is het verband tussen P, U en I en wat is het verband tussen U, I en R ?

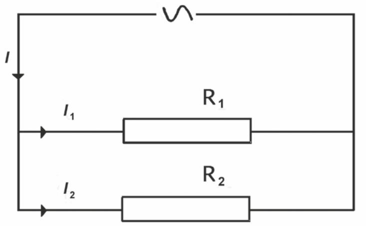
17 Hoe bereken je de geleidbaarheid van parallel geschakelde weerstanden?

18 Wat gebeurt er met de temperatuur van de NTC-weerstand als de spanning groter wordt?

Uitwerkingen bij hoofdstuk 8

Wisselverwarming

1 Zie de tekening.
Voor het vermogen P van het verwarmingselement geldt:
$P = U \cdot I$ (Binas 35D1), waarin:
U = spanning over één verwarmingslint = 230 V
I = stroomsterkte in de keten
Er geldt: $I = I_1 + I_2 = 2 \cdot I_1$ ($R_1 = R_2$, dus $I_1 = I_2$),
met: $I_1 = \frac{U}{R_1}$ (Binas 35D1) $= \frac{230}{44{,}1} = 5{,}22$ A
zodat: $I = 2 \cdot 5{,}22 = 10{,}44$ A
Invullen: $P = 230 \cdot 10{,}44 = 2{,}40 \cdot 10^3$ W



2 Antwoord B is juist.
Voor het vermogen P geldt: $P = U \cdot I$ (Binas 35D1), met U = spanning (= constant) en I = stroomsterkte.
De stroomsterkte I is groter als de weerstand R van de magnesiumdraad kleiner is ($U = I \cdot R$, Binas 35D1).
R is klein als de lengte van de draad klein is en de doorsnede groot ($R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$, Binas 35D1).

3 De diameter d van de magnesiumdraad volgt uit:
$A = \pi \cdot r^2$ (Binas 36B) $= \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right)^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d^2$, waarin:
A = doorsnede van de magnesiumdraad
Er geldt: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow A = \frac{\rho \cdot \ell}{R}$, met:
ρ = soortelijke weerstand van magnesium = $46 \cdot 10^{-9}$ Ω m (Binas 8)
R = weerstand van één magnesiumdraad = 44,1 Ω
ℓ = lengte van één magnesiumdraad = 20 m
zodat: $A = \frac{46 \cdot 10^{-9} \cdot 20}{44{,}1} = 2{,}09 \cdot 10^{-8}$ m^2
Invullen: $2{,}09 \cdot 10^{-8} = \frac{1}{4}\pi \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{2{,}09 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{4}\pi}} = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ m

Frituurpan

4 Voor de stroomsterkte I die het lichtnet levert, geldt:
$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$ (Binas 35D1), waarin:
P = elektrische vermogen van de frituurpan = 1,8 kW = $1{,}8 \cdot 10^3$ W
U = spanning van het lichtnet = 230 V
Invullen: $I = \frac{1{,}8 \cdot 10^3}{230} = 7{,}8$ A

5 Schema I is niet juist.
Het neonlampje is in deze schakeling aangesloten op een spanning van 230 V in plaats van op 90 V.
Schema II is niet juist.
Het verwarmingselement, de weerstand van 330 kΩ en het neonlampje zijn in deze schakeling in serie geschakeld. De spanning over het verwarmingselement zal daardoor kleiner zijn dan 230 V.
Ook goed is: doordat in schema II het verwarmingselement in serie is geschakeld met de weerstand van 330 kΩ, zal de stroom door het verwarmingselement te laag zijn.

Ga zelf na dat schema III wel juist is.

6 De weerstand R van deze ene koperdraad volgt uit:
$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell} \Rightarrow R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$ (Binas 35D1), waarin:
ρ = soortelijke weerstand van koper = $17 \cdot 10^{-9}$ W m (Binas 8)
A = doorsnede van één koperdraad in de kabel = 2,5 mm^2 = $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ m^2
ℓ = lengte van de kabel = 60 m
Invullen: $R = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 60}{2{,}5 \cdot 10^{-6}} = 0{,}41$ Ω

7 We berekenen de spanning U_{kabel} over de kabel als de frituurpan is ingeschakeld.
Er geldt: $U_{kabel} = I \cdot R$ (Binas 35D1), waarin:
I = stroomsterkte in de kabel = 7,3 A (zie tabel 1)
R = weerstand van de twee draden in de kabel = $2 \cdot 0{,}41 = 0{,}82$ Ω (zie antwoord 15)
Invullen: $U_{kabel} = 7{,}3 \cdot 0{,}82 = 6{,}0$ V
Door het gebruik van de kabel zal de spanning over de pan dus 6,0 V dalen.
Dat klopt met de meting van Twan: als de pan is ingeschakeld, daalt de spanning van 230 V naar (230 – 6,0) = 224 V.
Twans veronderstelling is dus juist.

8 Voor de weerstand R van de nichroomdraad van het verwarmingselement geldt: $U = I \cdot R$ (Binas 35D1). Als de weerstand R toeneemt, zal de stroom I door het element dus afnemen (de spanning U blijft constant).
Voor het vermogen P dat in de nichroomdraad wordt ontwikkeld, geldt: $P = U \cdot I$ (Binas 35D1). Als de stroom I door het element kleiner wordt, zal het vermogen P dus ook kleiner worden (de spanning U blijft constant).

Zekeringen in een auto

9 We berekenen de stroomsterkte I_3 door zekering 3 met:
$I_3 = I_{reml} + I_{reml} = 2 \cdot I_{reml}$ (Binas 35D1, stroomsterkte in parallelschakeling), waarin:
I_{reml} = stroomsterkte in een remlicht
Er geldt: $P_{reml} = U_{reml} \cdot I_{reml}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow I_{reml} = \frac{P_{reml}}{U_{reml}}$, met:
P_{reml} = vermogen van een remlicht = 21 W
U_{reml} = spanning van de batterij = 12 V
zodat: $I_{reml} = \frac{21}{12} = 1{,}75$ A
Invullen: $I_3 = 2 \cdot 1{,}75 = 3{,}5$ A

10 – De stroomsterkte door zekering 2 is gelijk gebleven.
de spanning over de achterruitverwarming blijft 12 V $\Rightarrow$ *de stroomsterkte door de achterruitverwarming blijft gelijk* $\Rightarrow$ *de stroomsterkte door zekering 2 blijft gelijk*
– De stroomsterkte door zekering 1 is kleiner geworden
$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$ $\Rightarrow$ *als* I_3 *nul wordt, zal* I_1 *kleiner worden*

11 Het elektrische vermogen P_{verw} van de achterruitverwarming berekenen we met:
$P_{verw} = U_{verw} \cdot I_{verw} = (I_{verw} \cdot R_{verw}) \cdot I_{verw}$ (Binas 35D1), waarin:
U_{verw} = spanning over de achterruitverwarming
I_{verw} = stroomsterkte in de stroomkring van de achterruitverwarming

Er geldt: $U_{accu} = I_{verw} \cdot R_{kring}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I_{verw} = \frac{U_{accu}}{R_{kring}}$, met:

U_{accu} = spanning van de accu = 12 V
R_{kring} = totale weerstand van de stroomkring van de achterruitverwarming = $= R_{verw} + R_{draad} = 0{,}900 + 0{,}022 = 0{,}922$ W

zodat: $I_{verw} = \frac{12}{0{,}922} = 13{,}0$ A

R_{verw} = weerstand van de achterruitverwarming = 0,900 Ω
Invullen: $P_{verw} = (13{,}0 \cdot 0{,}900) \cdot 13{,}0 = 1{,}5 \cdot 10^2$ W

12 – De stroomsterkte I in de nieuwe audioversterker berekenen we met:

$P = U_{accu} \cdot I$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I = \frac{P}{U_{accu}}$, waarin:

P = vermogen van de nieuwe audiover0sterker = 420 W
U_{accu} = spanning van de batterij = 12 V

Invullen: $I = \frac{420}{12} = 35$ A

De zekering van 40 A is groot genoeg en dus goed gekozen.

– Voor het vermogensverlies P_{verl} in de vorm van warmteontwikkeling in de aansluitdraden, geldt: $P_{verl} = U \cdot I = (I \cdot R_{draad}) \cdot I = I^2 \cdot R_{draad}$ (Binas 35D1).
Het vermogensverlies is dus afhankelijk van de stroomsterkte in de draden en de weerstand van de draden. Hoe groter I, hoe groter P_{verl}.
De stroomsterkte neemt flink toe bij het in gebruik nemen van de nieuwe audioversterker. Het is dus van belang dat de weerstand van de aansluitdraden kleiner gemaakt wordt, om oververhitting (brandgevaar) te voorkomen.

Voor weerstanden geldt: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ $\Rightarrow$ $R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$ (Binas 35D1)

Hieruit volgt: hoe dikker de draad, hoe kleiner de weerstand, hoe kleiner de kans op oververhitting.
De opmerking in de handleiding gaat dus inderdaad over brandveiligheid.

13 – De stroomsterkte I_k door de PPTC-weerstand tijdens een kortsluiting, bepalen we

met: $U = I_k \cdot R_{PPTC}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I_k = \frac{U}{R_{PPTC}}$, waarin:

U = spanning van de accu = 12 V
R_{PPTC} = weerstand bij 120 °C van de PPTC = 85 Ω (afgelezen in figuur 3)

Invullen: $I_k = \frac{12}{85} = 0{,}14$ A

– Zodra er kortsluiting optreedt, zal er een grote stroom door de PPTC-weerstand lopen. De temperatuur van de PPTC-weerstand neemt dan snel toe en daardoor zal de weerstand snel toenemen (zie figuur 3). De stroomsterkte neemt hierdoor af. De PPTC-weerstand voorkomt dus dat bij kortsluiting in de remlichten gedurende een lange tijd een grote stroomsterkte in de kabels loopt.

Kerstboomlampjes

14 Voor de weerstand R_L van het lampje geldt: $U_L = I \cdot R_L$ $\Rightarrow$ $R_L = \frac{U_L}{I}$
(wet van Ohm; Binas 35D1), waarin:
U_L = spanning over het lampje.
Als de kerstverlichting is aangesloten, staan er 24 lampjes in serie geschakeld.

Dan geldt: $U_{net} = 24 \cdot U_L$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $U_L = \frac{U_{net}}{24}$, met:

U_{net} = netspanning = 230 V

zodat: $U_L = \frac{230}{24} = 9{,}58$ V

I = stroomsterkte in het lampje = 120 mA = $120 \cdot 10^{-3}$ A
(afgelezen in figuur 1 bij $U_L = 9{,}58$ V)

Invullen: $R_L = \frac{9{,}58}{120 \cdot 10^{-3}} = 80$ Ω

15 Als parallel aan elk lampje (met weerstand R_L) een weerstand R wordt geschakeld en deze weerstand is bij alle lampjes even groot, zal de geleidbaarheid van R_L en R bij alle lampjes hetzelfde zijn. Dan staat er opnieuw over elk lampje een spanning van $\frac{230}{24} = 9{,}6$ V. De lampjes zullen dus normaal branden.

16 Als alle lampjes in deze schakeling branden, geldt voor het totaal ontwikkelde vermogen P_{tot}: $P_{tot} = 24 \cdot P_L + 24 \cdot P_R = 24 \cdot (P_L + P_R)$, waarin:
P_L = vermogen van één lampje = $U_L \cdot I_L$ (Binas 35D1), met:

U_L = spanning over één lampje = $\frac{230}{24} = 9{,}58$ V (zie twee antwoorden hiervoor)

I_L = stroomsterkte in één lampje = 0,120 A (zie twee antwoorden hiervoor)
zodat: $P_L = 9{,}58 \cdot 0{,}120 = 1{,}15$ W

P_R = vermogen van één parallel geschakelde weerstand = $U_R \cdot I = U_R \cdot \frac{U_R}{R}$
(Binas 35D1), met:

U_R = spanning over deze weerstand = $\frac{230}{24} = 9{,}58$ V

I = stroomsterkte in de weerstand R
R = grootte van de weerstand = 2,0 Ω

zodat: $P_R = 9{,}58 \cdot \frac{9{,}58}{2{,}0} = 45{,}9$ W

Invullen: $P_{tot} = 24 \cdot (1{,}15 + 45{,}9) = 1{,}1 \cdot 10^3$ W
Het oorspronkelijke vermogen van de kerstboomverlichting is $24 \cdot P_L = 24 \cdot 1{,}15$ W = = 28 W. Door het aansluiten van de parallelle weerstanden van 2,0 Ω is het totale vermogen dus sterk toegenomen. Dat Karin ontevreden is en dit ontwerp afkeurt, is dus heel begrijpelijk.

17 We berekenen de stroomsterkte I in de keten als Karin één lampje heeft losgedraaid.

Dan geldt: $U_{net} = I \cdot R_{tot} \Rightarrow I = \dfrac{U_{net}}{R_{tot}}$ (wet van Ohm; Binas 35D1), waarin:

U_{net} = netspanning = 230 V

R_{tot} = totale weerstand in de keten = $R + 23 \cdot R_v$ (Binas 35D1), met:

R = 2,0 kΩ = $2{,}0 \cdot 10^3$ Ω

R_v = vervangingsweerstand van de parallel-geschakelde weerstand R (= 2,0 kΩ) en de weerstand van het lampje R_L (= 80 Ω) (zie 3 antwoorden hiervoor)

Er geldt: $\dfrac{1}{R_v} = G_v = G_R + G_L$ (Binas 35D1), met:

G_v = geleidbaarheid van de parallelschakeling

G_R = geleidbaarheid van één weerstand R = $\dfrac{1}{2{,}0 \cdot 10^3}$ S

G_L = geleidbaarheid van één lampje = $\dfrac{1}{80}$ S

zodat: $G_v = \dfrac{1}{2{,}0 \cdot 10^3} + \dfrac{1}{80} = 0{,}0130$ S $\Rightarrow$

$R_v = \dfrac{1}{0{,}0130} = 76{,}9$ Ω

zodat: $R_{tot} = (2{,}0 \cdot 10^3 + 23 \cdot 76{,}9)$ Ω $= 3{,}77 \cdot 10^3$ Ω

Invullen: $I = \dfrac{230}{3{,}77 \cdot 10^3} = 0{,}061$ A

De stroomsterkte in een lampje moet 0,120 A zijn om het lampje op normale sterkte te laten branden, dus de stroom is nu te laag om de lampjes normaal te laten branden.

18
- Als er één lampje kapot gaat, neemt de spanning over de grootste weerstand in de keten – de NTC-weerstand parallel aan dat lampje – toe. Hierdoor wordt de stroomsterkte in die NTC-weerstand groter en stijgt de temperatuur, waardoor zijn weerstandswaarde kleiner wordt. Dan wordt de stroomsterkte I in de keten groter ($I = \dfrac{U}{R}$), zodat de lampjes weer normaal gaan branden.
- Als na het stukgaan van één lampje alle lampjes weer min of meer normaal branden, zal door de lage temperatuur de weerstandswaarde van de NTC-weerstand weer oplopen tot een waarde die hoger ligt dan van één van de lampjes. Er stelt zich een evenwicht in. De stroomsterkte door de NTC-weerstand en dus in de hele keten zal dan wat lager zijn, waardoor het totale afgenomen vermogen ongeveer gelijk is aan het vermogen in de situatie dat alle lampjes nog intact waren.

Oefenen met hele examens, met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de goede antwoorden.

Deel 2a Examens met uitwerkingen

Bij de uitwerkingen van de examens staan puntenverdelingen aangegeven. Het toekennen van deze scorepunten behoeft een extra uitleg bij vaak voorkomende situaties:

- Een scorepunt bij een formule krijg je pas als je de juiste formule hebt geselecteerd **én** voor minstens één grootheid de juiste waarde hebt ingevuld.
  Alleen het opschrijven van een formule levert **nooit** een scorepunt op.
- Als de waarden van twee of drie grootheden juist zijn opgezocht in Binas of ScienceData, levert dat meestal één scorepunt op. Heb je maar één waarde goed opgezocht, dan levert dat geen punt op. Halve scorepunten worden niet gegeven.
- Als een vraag moet worden afgesloten met een berekening, krijg je het laatste scorepunt niet als je:
  - een fout in de nauwkeurigheid van de uitkomst hebt gemaakt
  - een rekenfout hebt gemaakt
  - de eenheid van een uitkomst niet of fout vermeld hebt

Examen 2016-II

Sluis van Fankel

Tijdens een boottochtje over de Moezel van Beilstein naar Cochem passeert een schip bij Fankel een sluis. Het schip vaart de sluis in (zie figuur 1), het water in de sluis zakt (zie figuur 2), en na enige tijd kan het schip de sluis weer verlaten. In de sluis ligt het schip stil.

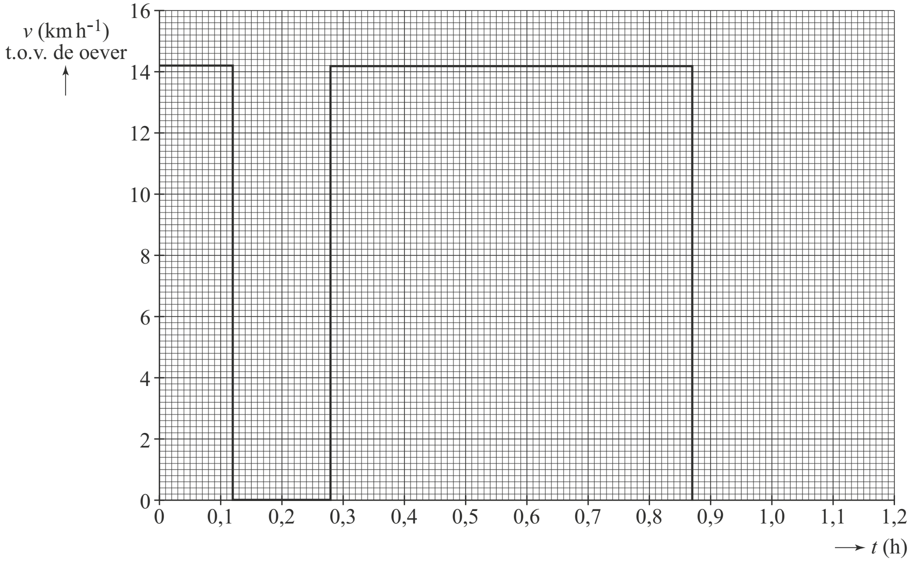
figuur 1

figuur 2

Een passagier op het schip heeft twee (v,t)-diagrammen gemaakt: één van de heenreis en één van de terugreis. Deze diagrammen zijn op de uitwerkbijlage gegeven. Hierin is de snelheid van het schip gegeven ten opzichte van de oever.

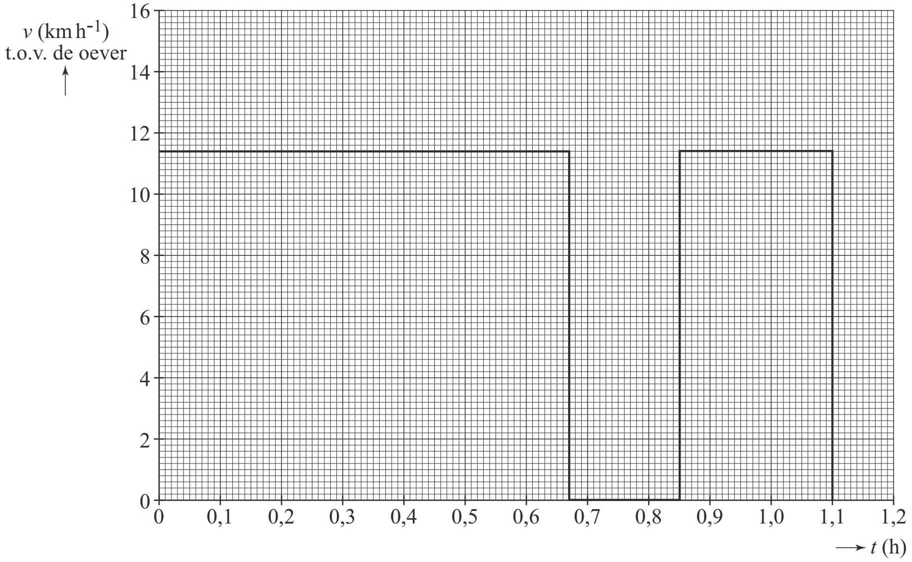
2p **1** Bepaal, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage, hoeveel minuten het passeren van de sluis op de heenreis duurt.

uitwerkbijlage bij vraag 1 en vraag 3



3p **2** Bepaal, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage, de afstand tussen Beilstein en Cochem. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

uitwerkbijlage bij vraag 2 en vraag 3



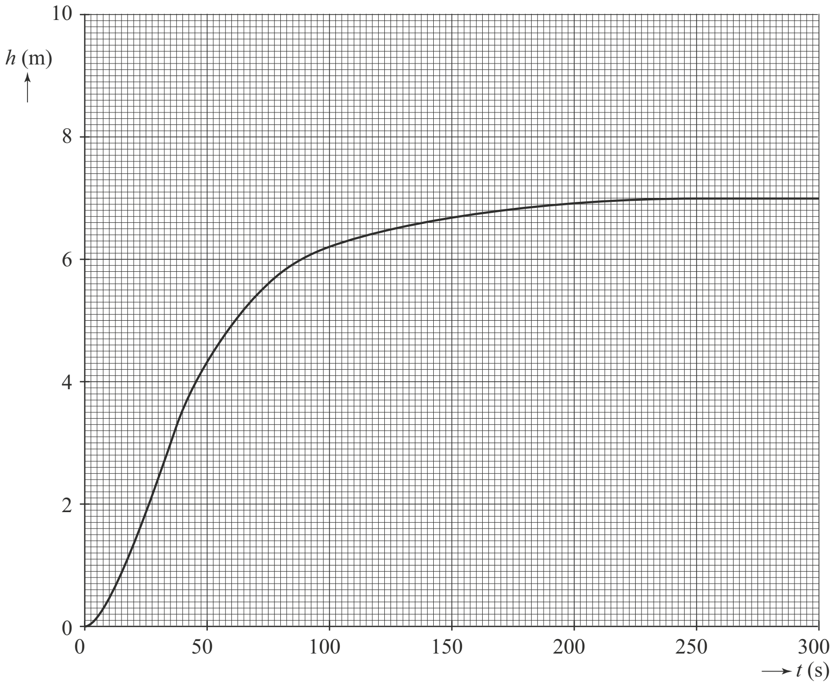
De Moezel is een stromende rivier. De snelheid van het schip ten opzichte van het water is in beide richtingen even groot.

3p **3** Bepaal met behulp van de figuren op de beide uitwerkbijlagen de stroomsnelheid van de rivier tijdens de boottocht.

Bij deze sluis neemt de waterhoogte op de terugweg met 7,0 m toe.
Het stijgen van het water in de sluis als functie van de tijd is in een (*h*,*t*)-diagram op de uitwerkbijlage gegeven.

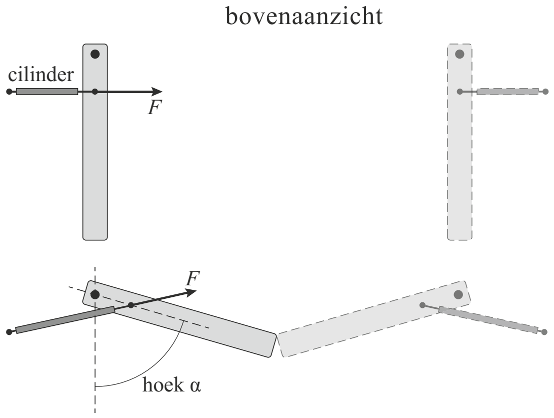
3p **4** Bepaal, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage (op de pagina hiernaast), de maximale stijgsnelheid van het water in de sluis.

uitwerkbijlage bij vraag 4



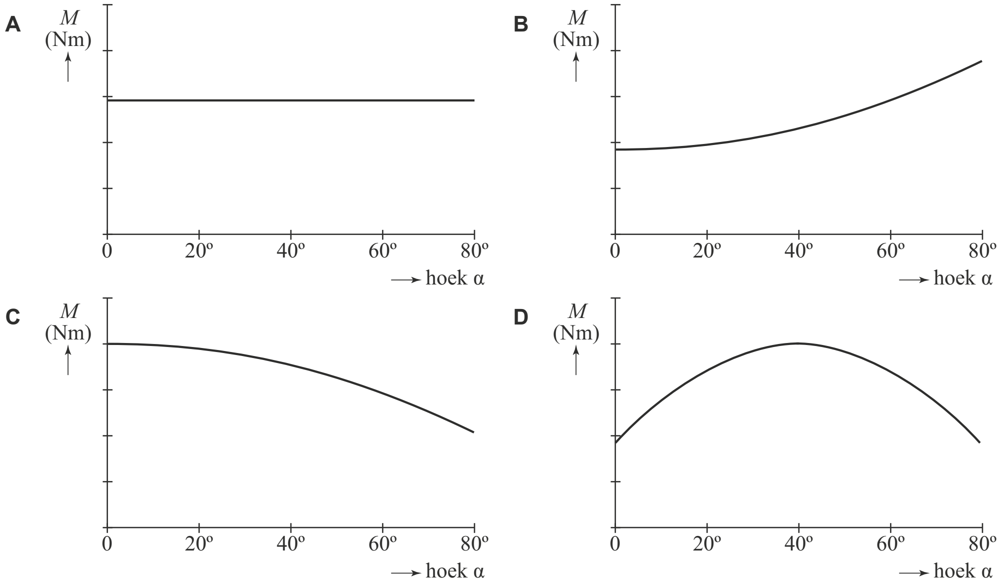
In figuur 3 zijn de sluisdeuren in bovenaanzicht schematisch getekend. In het bovenste deel van figuur 3 staan de sluisdeuren open, in het onderste deel zijn ze gesloten.
De sluisdeuren worden bediend met hydraulische cilinders: deze hebben stangen die in en uit kunnen schuiven.
Tijdens het sluiten van de sluisdeuren heeft het water rond een sluisdeur dezelfde hoogte.
De kracht van de hydraulische cilinder op een sluisdeur is tijdens het sluiten van de sluisdeuren steeds even groot.

figuur 3



Op een bepaald tijdstip worden de sluisdeuren gesloten.

1p **5** In welk diagram is het moment $M = Fr$ van de kracht van de hydraulische cilinder op een sluisdeur als functie van hoek α juist weergegeven?



figuur 4

Naast de sluis ligt in de rivier een stuw. Zie figuur 4.
Een stuw wordt gebouwd tussen twee delen van een rivier met een hoogteverschil. Dit hoogteverschil wordt gebruikt om met behulp van een waterkrachtcentrale elektrische energie op te wekken. Het hoogteverschil in deze stuw is 7,0 m.
Als er 400 m^3 water per seconde door de stuw gaat, levert de stuw zijn maximale elektrische vermogen van 16,4 MW. Het snelheidsverschil van het water voor en na de stuw is te verwaarlozen.

4p **6** Bereken het rendement van deze energieomzetting.

Gemiddeld stroomt er 209 m^3 water per seconde door de stuw.
Het opgewekte vermogen is evenredig met de hoeveelheid water per seconde.
Het rendement van de stuw is bij 209 m^3 water per seconde niet hetzelfde als bij 400 m^3 water per seconde.
Een huishouden gebruikt gemiddeld 3750 kWh per jaar aan elektrische energie.

4p **7** Bereken hoeveel huishoudens er maximaal door deze stuw van elektrische energie kunnen worden voorzien. Geef het antwoord in twee significante cijfers.

Wieg

figuur 1

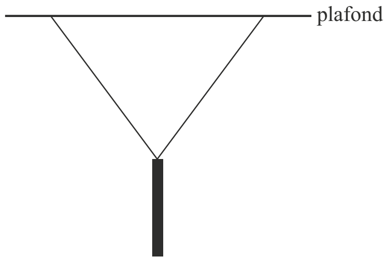
Marloes heeft een wieg gekocht voor haar baby. De wieg hangt aan een veer en kan zachtjes op en neer trillen (zie figuur 1). Op de verpakking van de wieg staat: C_{veer} = 1,3 kN m^{-1} en m_{wieg} = 12,2 kg.

2p **8** Bereken hoever de veer is uitgerekt als de wieg aan de veer hangt.

De wieg is met twee touwen aan het plafond bevestigd (zie figuur 1).

3p **9** Bepaal met een constructie in de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de spankracht in een touw.

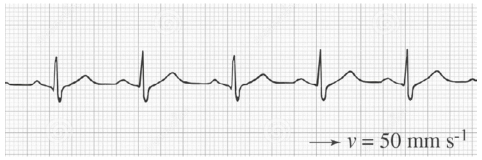
uitwerkbijlage bij vraag 9



Marloes legt haar baby van 3,2 kg in de wieg. Als zij de wieg een klein beetje naar beneden duwt en dan loslaat, gaat de wieg met de baby erin een trilling uitvoeren.

3p **10** Bereken de frequentie van deze trilling.

figuur 2



Marloes heeft een cardiogram van de hartslag van haar baby. Met de hartslag wordt het aantal slagen van het hart per minuut bedoeld. Het cardiogram is gegeven in figuur 2. Het papier bewoog met een snelheid van 50 mms^{-1}.

3p **11** Leg uit hoe Marloes de hartslag van haar baby kan bepalen met behulp van een cardiogram zoals in figuur 2.

Marloes heeft gelezen dat baby's gemakkelijker in slaap vallen als de frequentie van het trillen van de wieg twee keer zo klein is als de frequentie waarmee het hart van de baby klopt. De frequentie van haar wieg is nu nog te hoog.

2p **12** Noem twee aanpassingen aan de wieg die Marloes zou kunnen doen om de frequentie van de wieg kleiner te maken. Licht je antwoord toe.

Bliksem

figuur 1

Bij onweer kunnen wolken sterk elektrisch geladen zijn. Als het bliksemt, vindt er een ontlading plaats tussen twee wolken of tussen een wolk en de aarde (een blikseminslag). Zie figuur 1. Als zo'n ontlading ver weg plaatsvindt, hoor je de donder die er bij hoort veel later dan je de lichtflits ziet. Met de volgende vuistregel kun je uitrekenen op welke afstand het onweer zich dan bevindt.

Als er drie seconden verstrijken tussen het zien van de lichtflits en het horen van de donder, bevindt het onweer zich op ongeveer één kilometer afstand.

2p **13** Beantwoord de volgende vragen:
- Leg uit waarom je de lichtflits eerder ziet dan je de donder hoort.
- Toon aan dat de vuistregel klopt.

Op de website van het KNMI staat dat bliksem als energiebron weinig voorstelt. De energie van een gemiddelde blikseminslag is minder dan de warmte die vrijkomt bij het verbranden van 1 m^3 (Gronings) aardgas.

Bij een blikseminslag loopt er gedurende 50 μs een stroom van 30 kA tussen de donderwolk en de aarde. De spanning tussen de donderwolk en de aarde is 6,0 MV.

4p **14** Laat met behulp van Binas tabel 28 en een berekening zien, of de uitspraak van het KNMI voor deze blikseminslag klopt.

Een bliksemafleider is een metalen staaf op het dak van een gebouw. Zie figuur 2. Vroeger was een bliksemafleider met een dikke koperdraad verbonden met een metalen raster in de grond. Vanwege koperdiefstal heeft men tegenwoordig het koperdraad vervangen door aluminiumdraad.

figuur 2

3p **15** Wordt in een aluminiumdraad meer of minder warmte per seconde ontwikkeld dan in een koperdraad met dezelfde afmetingen?
Licht je antwoord toe. Neem aan dat de stroomsterkte in beide gevallen even groot is.

Tussen 1935 en 1970 zijn er in Nederland ongeveer 500 radioactieve bliksemafleiders op daken gezet. Op de punt van deze bliksemafleiders werd een radioactieve bron aangebracht.
Men veronderstelde dat de bliksem dan eerder zou inslaan, omdat de lucht rond de bliksemafleider geïoniseerd werd door de ioniserende straling uit de bron.
In sommige bliksemafleiders gebruikte men radium-226, in andere bliksemafleiders kobalt-60.
Op de uitwerkbijlage staat hierover een tabel.

3p **16** Voer de volgende opdrachten uit:
- Vul de tabel op de uitwerkbijlage in.
- Leg met behulp van de ingevulde tabel op de uitwerkbijlage uit welke bron (radium-226 of kobalt-60) het beste gebruikt kon worden in een bliksemafleider.

uitwerkbijlage bij vraag 16

	soort straling	halveringstijd	ioniserend vermogen
Ra-226			hoog
Co-60			laag

Na 1970 werd ook americium-241 als radioactieve bron gebruikt.

3p **17** Geef de vervalreactie van americium-241.

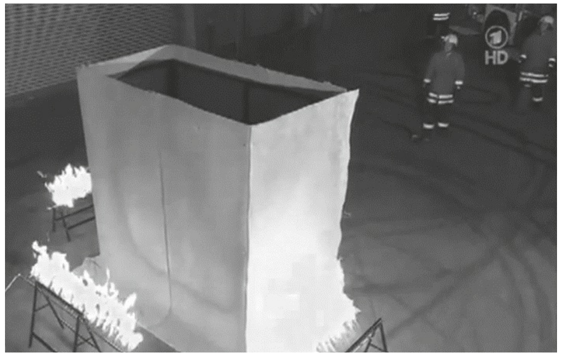
Vanwege hun niet aantoonbaar nut zijn de radioactieve bliksemafleiders enige tientallen jaren geleden door daarin gespecialiseerde bedrijven verwijderd.
Per verwijderde radioactieve bliksemafleider met Am-241 werd de effectieve totale lichaamsdosis die een monteur ontvangt, geschat op 70 μSv.

3p **18** Bereken het aantal bliksemafleiders van dit type dat een monteur (beroepshalve, ouder dan 18 jaar) per jaar mag verwijderen zonder de stralingsbeschermingsnormen te overtreden.

Aerogel

Aerogel is een materiaal met goede warmte-isolerende eigenschappen.
Bovendien is aerogel vuurbestendig.
Op de Duitse televisie werd een demonstratie gegeven met aerogel.
In de show wilde men laten zien dat aerogel de warmte goed isoleert.
De presentator van de televisieshow ging in een kooi staan die omgeven werd door platen aerogel. De bovenkant van de ruimte was open.
De platen werden aan de buitenkant met vlammen verwarmd. Zie figuur 1.

figuur 1



De gebruikte platen aerogel waren elk 1,0 cm dik, 3,0 m hoog en 1,0 m breed.
Zo'n plaat heeft een massa van 2,0 kg.
Een plaat van gips met dezelfde afmetingen zou veel zwaarder zijn.

3p **19** Bereken de massa van een gipsplaat met dezelfde afmetingen als een plaat aerogel.

Aan de buitenkant werd de temperatuur van de platen aerogel 833 °C, aan de binnenkant was de temperatuur van de platen 'slechts' 53 °C.
Aerogel heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,020 W $m^{-1}K^{-1}$.

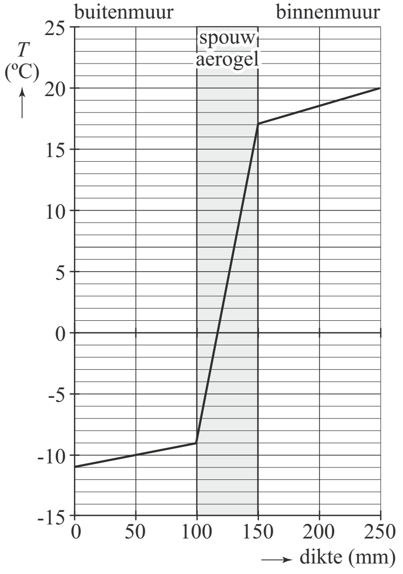
3p **20** Bereken de warmtestroom die dan door één plaat aerogel getransporteerd wordt.

In een huis bestaan de buitenmuren meestal uit twee stenen muren met een ruimte ertussen: de spouw. De spouw kan lucht bevatten of kan gevuld zijn met een isolatiemateriaal. Lucht is een slechte warmtegeleider. Neem aan dat de lucht in de spouw stilstaat.

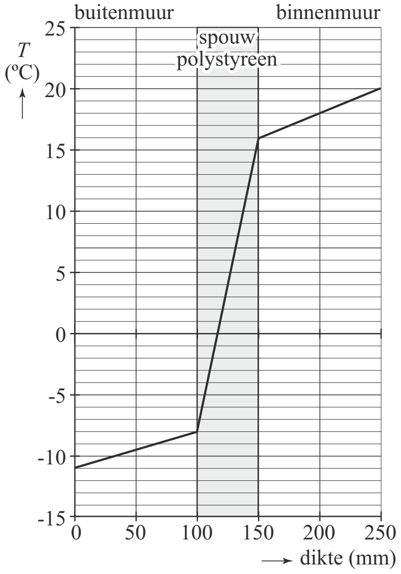
1p **21** Is er warmtetransport in een met lucht gevulde spouw?
A ja, voornamelijk door straling
B ja, voornamelijk door stroming
C ja, voornamelijk door geleiding
D nee

Een spouwmuur kan geïsoleerd worden door de spouw te vullen met polystyreen of met aerogel.
In figuur 2 is het temperatuurverloop als functie van de dikte van de muren gegeven voor aerogel; in figuur 3 voor polystyreen.
De buitenmuren en binnenmuren zijn in beide situaties identiek.

figuur 2



figuur 3



Op de uitwerkbijlage staan vier uitspraken over het isoleren van deze muur met polystyreen vergeleken met het isoleren van deze muur met aerogel.

3p **22** Geef op de uitwerkbijlage met een kruisje aan of deze uitspraken waar of niet waar zijn.

uitwerkbijlage bij vraag 22

	uitspraak	waar	niet waar
1	De warmtegeleidingscoëfficiënt van polystyreen is groter dan van aerogel.		
2	Het temperatuurverschil over de spouw met polystyreen is groter dan bij aerogel.		
3	De warmtestroom tussen binnen en buiten is voor beide muren gelijk.		
4	Polystyreen isoleert beter dan aerogel.		

Airbus E-fan

De Airbus E-fan is een klein, tweepersoons elektrisch vliegtuig.
Het vliegtuig heeft twee motoren met een vermogen van 4,0 kW per motor.
Elke motor heeft een eigen accu, met een spanning van 250 V.
De E-fan maakte zijn eerste vlucht op 11 maart 2014 op een luchtshow in Engeland.
Het vliegtuig kwam los van de grond bij een snelheid van 32 knopen.

2p **23** Reken deze snelheid om naar km h^{-1}.

2p **24** Bereken de stroomsterkte die elke accu aan zijn motor levert.

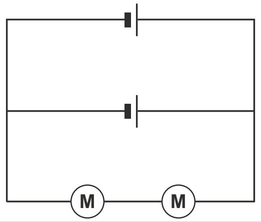
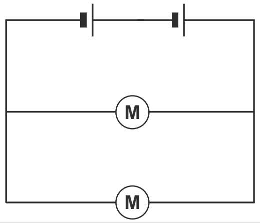
Bij een maximaal vermogen van 4,0 kW kan een motor maximaal 1 uur en 10 minuten werken. De massa van een accu is 40 kg.

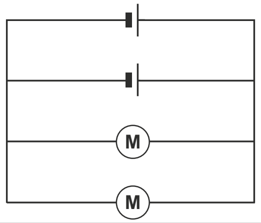
3p **25** Bereken de energiedichtheid in J kg^{-1} van een accu.

In plaats van elke motor op zijn eigen accu aan te sluiten, worden beide motoren en beide accu's in één schakeling aangesloten.
Als één motor uitvalt, moet de andere wel blijven werken. Op de uitwerkbijlage staan drie schakelingen getekend.

2p **26** Geef bij elke schakeling aan of de motoren juist of onjuist zijn aangesloten.

uitwerkbijlage bij vraag 26

I	II
	
juist / onjuist	juist / onjuist

III

juist / onjuist

Omdat het vliegtuig slechts korte vluchten kan maken op de twee volle accu's, wil de fabrikant een hybride model op de markt brengen dat langere vluchten kan maken.
In deze variant worden de accu's opgeladen door een verbrandingsmotor op benzine.
Deze variant kan 2,5 uur **langer** in de lucht blijven dan de E-fan.
Het rendement van de verbrandingsmotor is 35%.

4p **27** Bereken hoeveel liter benzine deze variant minimaal verbruikt tijdens zijn vlucht.

Hints bij examen 2016-II

1 Hoe groot is de snelheid van het schip als het aan de kade ligt?
2 Hoe bepaal je uit een (v,t)-diagram de afgelegde weg?
3 Hoe komt het dat de snelheid op de heenreis groter is dan op de terugreis?
4 Hoe bepaal je uit een (s,t)-diagram de snelheid op een bepaald moment?
5 Wat gebeurt er met de arm van de kracht als de sluisdeur dicht gaat?
6 Bereken de zwaarte-energie E_z die het stuwwater per seconde verliest.
7 Bereken eerst het vermogen dat de stuw levert bij 209 m^3 water per seconde.
8 Als de wieg stil hangt, is de zwaartekracht F_z even groot als de veerkracht F_v.
9 De resultante van de spankrachten F_s in de touwen is even groot als de zwaartekracht.
10 Wat is het verband tussen T, m en C?
11 Elke seconde komt op het cardiogram overeen met een aantal millimeter-hokjes.
12 Wat is het verband tussen T, m en C?
13 Vergelijk de lichtsnelheid en de geluidssnelheid met behulp van Binas 7A en 15A.
14 Wat is het verband tussen P, U en I?
15 Zie Binas 8 voor het verschil tussen de soortelijke weerstand van aluminium en koper.
16 Zie Binas 25A voor de eigenschappen van Ra-226 en Co-80.
17 Wat moet links en rechts van de $\rightarrow$ gelijk zijn?
18 Zie Binas 27D2 voor de effectieve dosislimiet per jaar (beroepshalve, boven 18 jaar).
19 Zie Binas 10A voor de dichtheid van gips.
20 Zie Binas 35C4 voor de warmtestroom P.
21 De lucht in de spouw is een stilstaand gas.
22 Voor welk van de isolatiematerialen is de temperatuursprong in de spouw het grootst?
23 Zie Binas 5.
24 Wat is het verband tussen P, U en I?
25 Energiedichtheid is energie per kilogram.
26 Let erop of de accu's en motoren parallel dan wel in serie zijn geschakeld.
27 Houd niet alleen rekening met $E = P \cdot t$, maar ook met het rendement.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2016-II

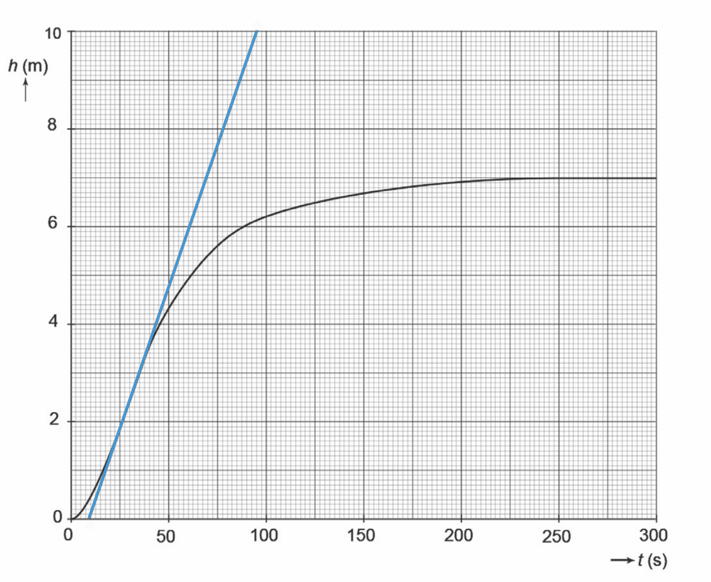
Sluis van Fankel

2p **1** Het schip ligt op de heenreis in de sluis gedurende de tijdsduur Δt waarin de snelheid voor het eerst nul is. Dat is van $t = 0{,}12$ h tot $t = 0{,}28$ h (afgelezen in de figuur (heenreis) van de uitwerkbijlage) [1p] $\Rightarrow$ $\Delta t = 0{,}28 - 0{,}12 = 0{,}16$ h $= 0{,}16 \cdot 60$ min $= 9{,}6$ min [1p]

3p **2** De afstand s tussen Beilstein en Cochem vinden we uit de figuur (terugreis) van de uitwerkbijlage door de oppervlakte A onder de grafiek in het (v,t)-diagram te bepalen. [1p]
Er geldt: $s = A = v \cdot \Delta t_1 + v \cdot \Delta t_2$ (Binas 35A1), waarin:
v = snelheid van het schip = 11,4 km h^{-1} [1p]
Δt_1 = tijdsduur eerste vaartraject = 0,67 h
Δt_2 = tijdsduur tweede vaartraject = 1,10 – 0,85 = 0,25 h
Invullen: $s = 11{,}4 \cdot 0{,}67 + 11{,}4 \cdot 0{,}25 = 10{,}49 = 10$ km [1p]

3p **3** De snelheid van het schip ten opzichte van het water $v_{schip,water}$ is op de heen- en terugreis even groot. De snelheid ten opzichte van de oever $v_{schip,oever}$ is op de heenreis groter dan op de terugreis, doordat het water stroomt. Op de heenreis vaart het schip met de stroom mee en op de terugreis tegen de stroom in.
Op de heenreis geldt dus: $v_{schip,oever} = v_{schip,water} + v_{water} = 14{,}2$ km h^{-1} ... (1)
(afgelezen in de uitwerkbijlage heenreis)
en op de terugreis: $v_{schip,oever} = v_{schip,water} - v_{water} = 11{,}4$ km h^{-1} ... (2) [1p]
(afgelezen in de uitwerkbijlage terugreis)
(1) – (2) $\Rightarrow$ $(v_{schip,water} + v_{water}) - (v_{schip,water} - v_{water}) = (14{,}2 - 11{,}4)$ km h^{-1} = 2,8 km h^{-1}
$\Rightarrow$ $2 \cdot v_{water} = 2{,}8$ km h^{-1} [1p] $\Rightarrow$ $v_{water} = 1{,}4$ km h^{-1} [1p]

3p **4** Zie de tekening (de ingetekende uitwerkbijlage).
De maximale stijgsnelheid v_{max} van het water in de sluis is de grootste helling van de grafiek.
Teken de raaklijn met maximale helling aan het (h,t)-diagram:



$v_{max} = \left(\dfrac{\Delta h}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ [1p]
(Binas 35A1), met:
Δh = hoogteverschil = 10 m
Δt = tijdsduur = 95 – 10 = 85 s [1p]
Invullen:
$v_{max} = \dfrac{10}{85} = 0{,}12$ m s^{-1} [1p]

1p **5** C is het juiste diagram.
Zie figuur 3.
Voor het moment M geldt: $M = F \cdot r$ *(Binas 35A7), waarin:*
F = kracht op de sluisdeur = constant van grootte
r = arm van de kracht
r is het grootst voor $\alpha = 0°$ (de deur is open)
r wordt kleiner als de deur dicht gaat, dus als α groter wordt.
Dus ook M wordt kleiner als α groter wordt.

4p **6** Voor het rendement η van deze energieomzetting geldt: $\eta = \dfrac{P_{el}}{P_{water}}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:
P_{el} = vermogen van de opgewekte elektrische energie = 16,4 MW = 16,4 · 10^6 W
P_{water} = zwaarte-energie E_z die het stuwwater per seconde verliest =
$= \dfrac{E_z}{t}$ [1p] $= \dfrac{m \cdot g \cdot h}{t}$ (Binas 35A4), met:
m = massa van het water dat per seconde door de stuw gaat =
$= \rho \cdot V$ [1p] (Binas 35C1), met:
ρ = dichtheid van water = 0,998 · 10^3 kg m^{-3} (Binas 11)
V = volume van het water dat per seconde door de stuw gaat = 400 m^3
zodat: $m = 0{,}998 \cdot 10^3 \cdot 400 = 399 \cdot 10^3$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = hoogteverschil in de stuw = 7,0 m
t = 1,0 s
zodat: $P_{water} = \dfrac{399 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 7{,}0}{1{,}0} = 2{,}74 \cdot 10^7$ W
Invullen: $\eta = \dfrac{16{,}4 \cdot 10^6}{2{,}74 \cdot 10^7} = 0{,}599 = 0{,}60 = 60\%$ [1p]

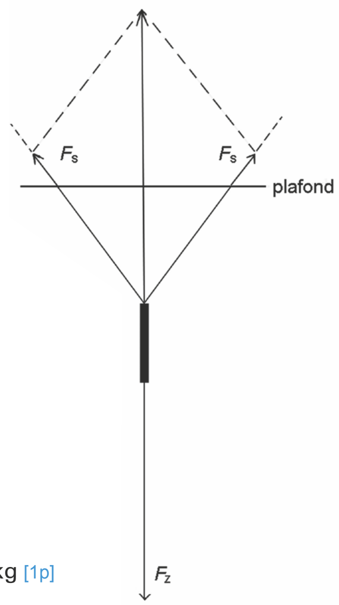
4p **7** Het aantal huishoudens N dat maximaal door deze stuw van energie kan worden voorzien, volgt uit: $N = \dfrac{E_{stuw}}{E_{huish}}$ [1p], waarin:
E_{stuw} = elektrische energie die de stuw per jaar levert = $P_{stuw} \cdot t$ (Binas 35A4), met:
P_{stuw} = vermogen dat de stuw levert bij 209 m^3 water per seconde =
$= \dfrac{209}{400} \cdot 16{,}4$ MW $= 8{,}57$ MW $= 8{,}57 \cdot 10^3$ kW [1p]
t = 1,00 y = 365 · 24 = 8760 h
zodat: $E_{stuw} = 8{,}57 \cdot 10^3$ kW · 8760 h [1p] $= 7{,}51 \cdot 10^7$ kWh
E_{huish} = gebruikte gemiddelde elektrische energie per huishouden per jaar = 3750 kWh
Invullen: $N = \dfrac{7{,}51 \cdot 10^7}{3750} = 2{,}0 \cdot 10^4$ [1p]

Wieg

2p **8** De uitrekking u van de veer volgt uit: $F_v = C \cdot u$ [1p] (Binas 35A3) $\Rightarrow$ $u = \dfrac{F_v}{C}$, waarin:
F_v = veerkracht van de veer
Als de wieg stil hangt geldt: $F_v = (-)\,F_z$, met:
F_z = zwaartekracht op de wieg = $m \cdot g$ (Binas 35A3), met:
m = massa van de wieg = 12,2 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F_v = F_z = 12{,}2 \cdot 9{,}81 = 1{,}20 \cdot 10^2$ N
C = 1,3 kN m^{-1} = 1,3 · 10^3 N m^{-1}
Invullen: $u = \dfrac{1{,}20 \cdot 10^2}{1{,}3 \cdot 10^3} = 9{,}2 \cdot 10^{-2}$ m [1p]

3p **9** Zie de tekening (ingevulde uitwerkbijlage).
De zwaartekracht F_z = 120 N (zie antwoord op vraag 8) is aangegeven met een vectorpijl van 4,0 cm lang naar beneden. [1p]
De wieg hangt stil, dus er is evenwicht van krachten.
De resultante van de spankrachten F_s in de touwen is dan dus een kracht omhoog, waarvan de lengte van de vectorpijl ook 4,0 cm is. Met de parallellogramconstructie vind je dan de beide spankrachten. [1p] De lengte van de vectorpijl van F_s blijkt in de tekening 2,5 cm te zijn

$\Rightarrow F_s = \frac{2{,}5}{4{,}0} \cdot 120 = 75$ N [1p]



3p **10** Voor de frequentie f van deze trilling geldt:

$f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de trilling

Er geldt: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ [1p] (Binas 35B1), met:

m = massa van de wieg met baby = 12,2 + 3,2 = 15,4 kg [1p]
C = veerconstante = 1,3 kN m^{-1}= 1,3 · 10^3 N m^{-1}

zodat: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{15{,}4}{1{,}3 \cdot 10^3}} = 0{,}684$ s

Invullen: $f = \frac{1}{0{,}684} = 1{,}5$ Hz [1p]

3p **11** Op het cardiogram van figuur 2 kan Marloes aflezen na hoeveel tijd de pieken van de hartslag zich herhalen: 50 mm op het cardiogram komt overeen met 1,0 s. [1p]
Ze hoeft slechts de afstand tussen twee (of meerdere) opeenvolgende pieken vast te stellen om de periode T van de hartslag te bepalen. [1p] Daarna kan zij berekenen hoeveel hartslagen er in één minuut plaatsvinden. [1p]

2p **12** Voor de frequentie f van de wieg geldt:

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van het massa-veersysteem
m = massa van de wieg met baby
f wordt dus kleiner als m groter wordt:
Dit kan Marloes doen door de wieg te verzwaren. [1p]
C = veerconstante van de veer
f wordt dus kleiner als C kleiner wordt:
Dit kan Marloes doen door aan de wieg een veer te monteren met een kleinere veerconstante (dus een slappere veer). [1p]

Bliksem

2p **13** – De lichtflits verplaatst zich met de lichtsnelheid c (c = 3,0 · 10^8 m s^{-1}; Binas 7A), waardoor je de lichtflits vrijwel onmiddellijk ziet.
De donder verplaatst zich met geluidssnelheid, dus veel langzamer dan de lichtflits [1p] ($v_{geluid\text{-}lucht\text{-}293K}$ = 0,343 · 10^3 m s^{-1}; Binas 15A).
– De afstand s die het geluid in 3 s aflegt volgt uit:
$s = v \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
$v = v_{geluid\text{-}lucht\text{-}293K}$ = 0,343 · 10^3 m s^{-1} (Binas 15A)
t = tijdsverschil tussen flits en donder = 3 s
Invullen: s = 0,343 · 10^3 · 3 = 1 · 10^3 m = 1 km $\Rightarrow$ De vuistregel klopt dus. [1p]

4p **14** De elektrische energie E_{el} die vrijkomt bij deze blikseminslag, volgt uit:
$E_{el} = P \cdot t$ [1p] $= U \cdot I \cdot t$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
P = vermogen van de blikseminslag
U = spanning tussen de donderwolk en de aarde = 6,0 MV = 6,0 · 10^6 V
I = elektrische stroom tussen de wolk en de aarde tijdens de flits = 30 kA = 30 · 10^3 A
t = tijdsduur van de ontlading = 50 µs = 50 · 10^{-6} s
Invullen: E_{el} = 6,0 · 10^6 · 30 · 10^3 · 50 · 10^{-6} J = 9,0 · 10^6 J
Bij de verbranding van 1 m^3 Gronings aardgas komt meer energie vrij:
32 · 10^6 J (Binas 28B) [1p]
De uitspraak van het KNMI klopt dus inderdaad voor deze blikseminslag. [1p]

3p **15** Voor de warmteontwikkeling per seconde P in een stroomdraad geldt:
$P = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$ (Binas 35D1), waarin:
I = elektrische stroomsterkte: deze is in beide draden even groot
U = spanning over de draad = $I \cdot R$ (Binas 35D1), met:
R = weerstand van de draad
Er geldt: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell} \Rightarrow R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$ (Binas 35D1), waarin:
lengte ℓ en doorsnede A voor beide draden even groot zijn
ρ = soortelijke weerstand: $\rho_{aluminium} > \rho_{koper}$ [1p] (Binas 8)
$\Rightarrow R_{aluminiumdraad} > R_{koperdraad} \Rightarrow U_{aluminiumdraad} > U_{koperdraad}$ [1p] $\Rightarrow$
$\Rightarrow P_{aluminiumdraad} > P_{koperdraad}$ [1p]
In een aluminiumdraad wordt dus bij een bepaalde stroomsterkte meer warmte per seconde ontwikkeld dan in een koperdraad met dezelfde afmetingen.

3p **16** – Zie Binas 25A en onderstaande tabel.

	soort straling [1p]	halveringstijd [1p]	ioniserend vermogen
Ra-226	α, γ	1,60 · 10^3 y	hoog
Co-60	β$^-$, γ	5,27 y	laag

– Ra-226 kan in een bliksemafleider om twee redenen het best gebruikt worden:
1. de bron gaat lang mee
2. de ioniserende werking van de straling is hoog [1p]

3p **17** $^{241}_{95}Am \rightarrow\ ^{237}_{93}Np + ^{4}_{2}He + \gamma$

- *Volgens Binas 25A vertoont americum-241 (α,γ)-verval: er komt dus een α-deeltje ($^{4}_{2}$He-kern) vrij.* [1p]
- *Americum-241 heeft atoomnummer 95 (Binas 25A, 40A of 99).*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn, dus de kern die ontstaat heeft atoomnummer 95 – 2 = 93.*
  Volgens Binas 25A, 40A of 99 is dit het element neptunium (Np). [1p]
- *Links en rechts van → moet de som van de massagetallen gelijk zijn, dus voor het massagetal A van de neptuniumkern geldt: A = 241 – 4 = 237.* [1p]

3p **18** Het aantal bliksemafleiders N van dit type dat een monteur maximaal per jaar mag verwijderen, volgt uit: $N = \dfrac{H_{tot}}{H_{bl}}$ [1p], waarin:

H_{tot} = effectieve dosislimiet per jaar (beroepshalve, boven 18 jaar) = = 20 mSv [1p] (Binas 27D2)

H_{bl} = ontvangen dosis per bliksemafleider die wordt gedemonteerd = 70 μSv = = $70 \cdot 10^{-3}$ mSv

Invullen: $N = \dfrac{20\ \text{mSv}}{70 \cdot 10^{-3}\ \text{mSv}} = 285$ [1p]

Aerogel

3p **19** De massa m van een gipsplaat met dezelfde afmetingen volgt uit:

$\rho = \dfrac{m}{V}$ [1p] $\Rightarrow m = \rho \cdot V$ (Binas 35C1), waarin:

ρ = dichtheid van gips = $2{,}32 \cdot 10^{3}$ kg m^{-3} (Binas 10A)
V = volume van de gipsplaat = $1{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 3{,}0 \cdot 1{,}0 = 3{,}0 \cdot 10^{-2}$ m^{3} [1p]
Invullen: $m = 2{,}32 \cdot 10^{3} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-2} = 70$ kg [1p]

3p **20** Voor de warmtestroom P door een plaat aerogel geldt:

$P = \lambda \cdot A \cdot \dfrac{\Delta T}{d}$ [1p] (Binas 35C4), waarin:

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt = 0,020 W m^{-1} K^{-1}
A = oppervlakte van de aerogelplaat = $3{,}0 \cdot 1{,}0 = 3{,}0$ m^{2}
ΔT = temperatuurverschil tussen buiten- en binnenkant van de plaat = = 833 – 53 = 780 K
d = dikte van de plaat = 1,0 cm = $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ m [1p]

Invullen: $P = 0{,}020 \cdot 3{,}0 \cdot \dfrac{780}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} = 4{,}70 \cdot 10^{3}$ W [1p]

1p **21** Het goede antwoord is A.
De lucht staat stil en dus is er geen stroming.
Lucht is een gas en dus is de geleiding van warmte verwaarloosbaar.

3p **22** Zie de tabel (de ingetekende uitwerkbijlage).

	uitspraak	waar	niet waar
1	De warmtegeleidingscoëfficiënt van polystyreen is groter dan die van aerogel	x	
2	Het temperatuurverschil over de spouw met polystyreen is groter dan bij aerogel		x
3	De warmtestroom tussen binnen en buiten is voor beide muren gelijk		x
4	Polystyreen isoleert beter dan aerogel		x

[4 goed 3p, 3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
Bij gelijk temperatuurverschil tussen binnen (20 °C) en buiten (–11 °C) ontstaat er over de spouw bij gebruik van polystyreen een kleiner temperatuurverschil (16 – (–8) = 24 °C) dan bij gebruik van aerogel (17 – (–9) = 26 °C).
De warmte kan bij gebruik van polystyreen dus makkelijker naar buiten ontsnappen dan bij aerogel ⇒ de warmtecoëfficiënt van polystyreen is groter dan van aerogel.
(Je kunt in beide gevallen ook letten op de temperatuursprong in de stenen muren. In de stenen buiten- en binnenmuur zijn de temperatuurverschillen bij toepassing van aerogel kleiner, dan wanneer polystyreen wordt gebruikt. De warmtestroom met een spouw van aerogel is dus kleiner, want de stenen muren veroorzaken de grootste warmtestroom. Vergelijk ook het grote verschil tussen de warmtegeleidingscoëfficiënten van steen en isolatie in tabel 28E).

Airbus E-fan

2p **23** 1 knoop = 0,514 m s^{-1} [1p] (Binas 5) ⇒

$\Rightarrow$ 32 knopen = $32 \cdot 0{,}514 = \dfrac{16{,}45\ \text{m}}{\text{s}} = \dfrac{16{,}45 \cdot 10^{-3}\ \text{km}}{\frac{1}{3600}\ \text{h}} = 59$ km h^{-1} [1p]

2p **24** De stroomsterkte I die elke accu levert, volgt uit:

$P = U \cdot I$ [1p] $\Rightarrow I = \dfrac{P}{U}$ (Binas 35D1), waarin:

P = vermogen van één motor = 4,0 kW = $4{,}0 \cdot 10^{3}$ W
U = accuspanning = 250 V

Invullen: $I = \dfrac{4{,}0 \cdot 10^{3}}{250} = 16$ A [1p]

3p **25** Voor de energiedichtheid in de accu geldt: $\textit{energiedichtheid} = \dfrac{\textit{energie}}{\textit{massa}} = \dfrac{E}{m}$ [1p], waarin:

E = elektrische energie van een volle accu = $P \cdot t$ [1p], met:
P = vermogen van één motor = 4,0 kW = $4{,}0 \cdot 10^{3}$ W
t = tijd gedurende welke de accu stroom kan leveren = 1 h en 10 min = 70 min = = $70 \cdot 60$ s = $4{,}2 \cdot 10^{3}$ s
zodat: $E = 4{,}0 \cdot 10^{3} \cdot 4{,}2 \cdot 10^{3} = 1{,}68 \cdot 10^{7}$ J
m = massa van één accu = 40 kg

Invullen: $\textit{energiedichtheid} = \dfrac{1{,}68 \cdot 10^{7}}{40} = 4{,}2 \cdot 10^{5}$ J kg^{-1} [1p]

2p **26** Schakeling I is onjuist.
In schakeling I zijn de motoren in serie geschakeld en dus is de spanning over elke motor slechts 125 V. Als er één uitvalt, valt de spanning over de andere ook weg.
Schakeling II is onjuist.
In schakeling II zijn de accu's in serie geschakeld, dus de spanning over elke motor is dan 500 V, ook als er één uitvalt.
Schakeling III is juist.
Elke motor is dan aangesloten op een spanning van 250 V.
Als één motor uitvalt, krijgt de andere nog steeds een spanning van 250 V.
[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]

4p **27** De hoeveelheid benzine V volgt uit: $V = \frac{E_{extra}}{r_v}$, waarin:

E_{extra} = extra energie om 2,5 h langer te vliegen = $\frac{P \cdot t}{0{,}35}$ [1p] (Binas 35D1), met:

P = vermogen van twee motoren = $2 \cdot 4{,}0$ kW = 8,0 kW = $8{,}0 \cdot 10^3$ W,
t = 2,5 h = $2{,}5 \cdot 3600$ s = $9{,}0 \cdot 10^3$ s
0,35 = rendement

zodat: $E_{extra} = \frac{8{,}0 \cdot 10^3 \cdot 9{,}0 \cdot 10^3}{0{,}35} = 2{,}06 \cdot 10^8$ J [1p]

r_v = stookwaarde van benzine = $33 \cdot 10^9$ J m^{-3} [1p] (Binas 28B)

Invullen: $V = \frac{2{,}06 \cdot 10^8}{33 \cdot 10^9} = 6{,}2 \cdot 10^{-3}$ m^3 = 6,2 L [1p]

©ThiemeMeulenhoff

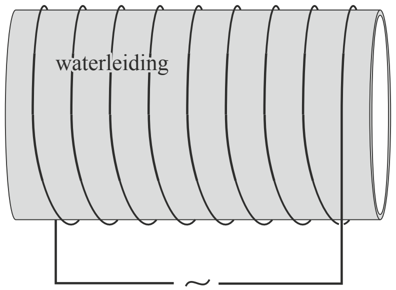
Examen 2017-I

Elektrische doorstroomverwarmer

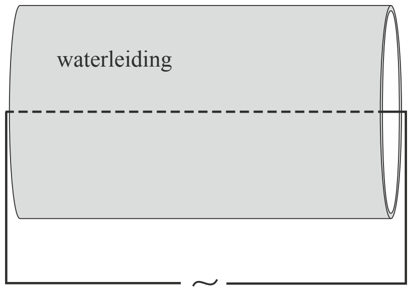
Een elektrische doorstroomverwarmer is een apparaatje dat in de koudwaterleiding gemonteerd wordt om koud water op te warmen.

In een oud type doorstroomverwarmer is een weerstandsdraad om de waterleiding gewikkeld. Zie figuur 1.
De weerstandsdraad dient als verwarmingselement.
In nieuwe types loopt de weerstandsdraad door de waterleiding heen en wordt direct omspoeld door het leidingwater. Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Het nieuwe type doorstroomverwarmer (figuur 2) heeft een hoger rendement dan het oudere type (figuur 1).

1p **1** Geef hiervoor een natuurkundige reden.

Om de juiste elektrische doorstroomverwarmer te kiezen wordt de volgende vuistregel gebruikt:

$P = 70 \cdot \text{debiet} \cdot \Delta T$

Het debiet is het aantal liter water dat per minuut door de doorstroomverwarmer wordt verwarmd.

In een folder van een bepaald type doorstroomverwarmer staan de volgende technische gegevens:

Technische gegevens	
spanning	230 V
maximaal vermogen	5000 W
maximaal debiet	2,9 L/min

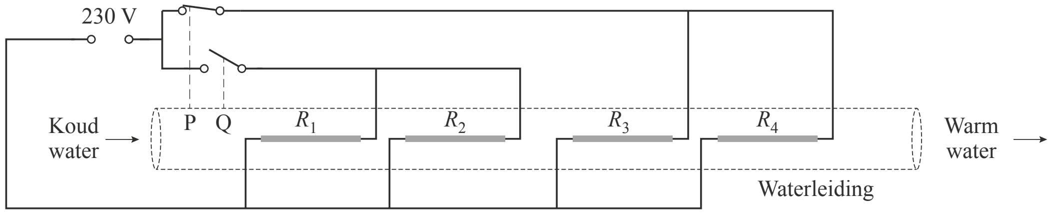
2p **2** Bereken met behulp van de vuistregel de (minimale) temperatuurstijging van het water bij gebruik van dit type doorstroomverwarmer bij maximaal vermogen.

Deze doorstroomverwarmer moet aangesloten worden op een zekering.
Er kan gekozen worden uit zekeringen van 16 A, 20 A, 25 A of 40 A.

3p **3** Leg met behulp van de technische gegevens uit welke zekering hiervoor het meest geschikt is en waarom de andere zekeringen niet geschikt zijn.

In de doorstroomverwarmer wordt het vermogen automatisch aangepast aan de waterbehoefte. In de geïsoleerde kunststof waterleiding zijn hiervoor vier identieke weerstandsdraden R_1 tot en met R_4 als verwarmingselementen gemonteerd. Zie figuur 3.

figuur 3



Bij weinig watergebruik is alleen schakelaar P gesloten. Als de vraag naar water groter is, zijn beide schakelaars P en Q gesloten.
Over deze schakeling staan op de uitwerkbijlage drie zinnen.

2p **4** Omcirkel in elke zin op de uitwerkbijlage het juiste alternatief.

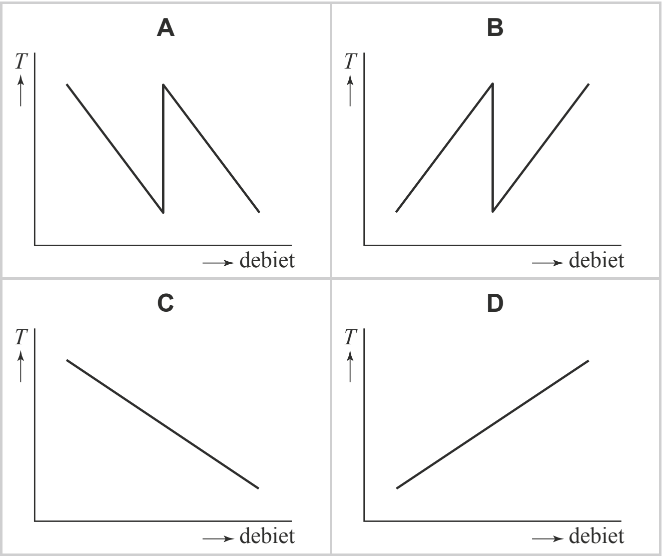
Uitwerkbijlage bij vraag 4

Als schakelaar Q ook wordt gesloten, geldt dat:

- de totale weerstand van de doorstroomverwarmer **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**.
- de totale stroomsterkte door de weerstandsdraden samen daardoor **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**.
- het vermogen van de doorstroomverwarmer daardoor **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**.

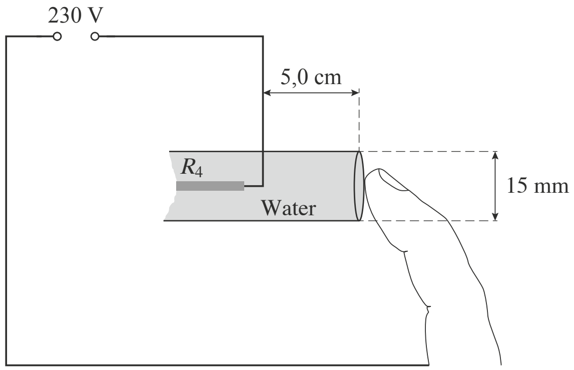
De temperatuur van het uitstromende water zal veranderen als het debiet verandert.

1p **5** Welke grafiek geeft bij benadering het verloop van de temperatuur weer als het debiet verandert?



De weerstandsdraden bevinden zich ongeïsoleerd in het water.
Dat lijkt gevaarlijk. De kortst mogelijke afstand tussen een weerstandsdraad en de uitstroomopening met het aan te raken water is 5,0 cm. De diameter van de waterkolom in de leiding is 15 mm. Zie schematisch in figuur 3 en uitvergroot in figuur 4. Het water heeft een soortelijke weerstand van $1{,}3 \cdot 10^5\ \Omega\,\text{m}$.
De weerstand van de vinger wordt verwaarloosd.

figuur 4



4p **6** Bereken de maximale stroomsterkte die door deze waterkolom gaat lopen.
Aanwijzing: bereken hiervoor eerst de weerstand van deze waterkolom.

Molybdeen-99

In Petten staat een kerncentrale waar isotopen voor medische toepassingen worden geproduceerd. Eén van de belangrijkste producten is molybdeen-99 (Mo-99).

Mo-99 wordt geproduceerd door een neutron in de kern van een andere isotoop te schieten. Op de uitwerkbijlage staat de reactie hiervan deels weergegeven.

3p **7** Maak de vergelijking van deze reactie op de uitwerkbijlage compleet.

Uitwerkbijlage bij vraag 7

$$^{....}_{....}\,.... + ^{....}_{....}\mathrm{n} \rightarrow ^{99}_{....}\mathrm{Mo}$$

Mo-99 wordt naar ziekenhuizen getransporteerd. Ondertussen vervalt een deel tot technetium-99m (Tc-99m), dat gebruikt wordt voor medische behandelingen. Iedere keer als men Tc-99m nodig heeft voor een behandeling, wordt dit afgescheiden van het molybdeen.
In ziekenhuizen wordt wekelijks een nieuwe voorraad Mo-99 aangevoerd.

1p **8** Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Mo-99 is er na een week nog over?

A minder dan 25%
B tussen 25% en 50%
C tussen 50% en 75%
D meer dan 75%

Tc-99m is metastabiel. Dit betekent dat de protonen en neutronen in de kern van een Tc-99m atoom zich kunnen herschikken tot een toestand met een lagere energie. Bij het verval van Tc-99m naar Tc-99 komt een foton vrij met een energie van 0,141 MeV.

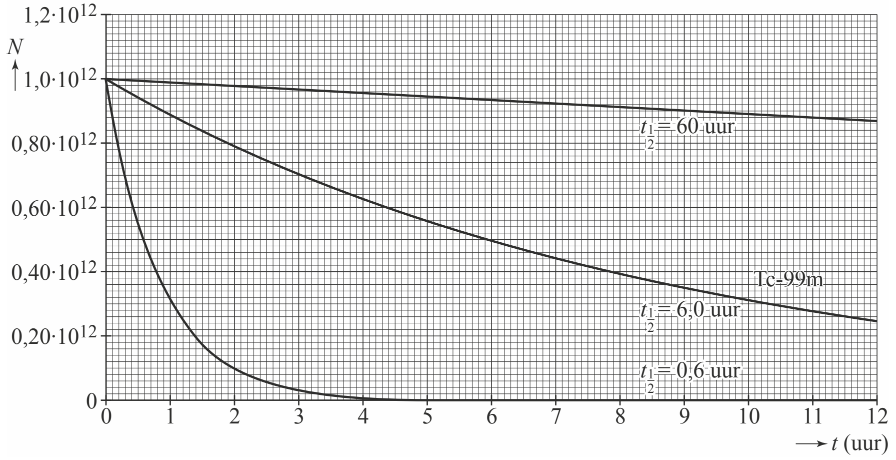
4p **9** Bereken de golflengte van dit foton.

Door deze fotonen is Tc-99m geschikt als tracer.
Een voorwaarde voor een radioactieve tracer is dat de totale dosis voor de patiënt zo laag mogelijk blijft. Een arts kan voor een behandeling kiezen uit tracers met verschillende halveringstijden.
In de figuur op de uitwerkbijlage staat het verval in de eerste 12 uur voor Tc-99m.
In de figuur is ook het verval voor twee tracers met andere halveringstijden weergegeven.
Voor een bepaalde diagnose is 3,0 uur na het toedienen van de radioactieve tracer ($N = 1{,}0 \cdot 10^{12}$ op $t = 0$ uur) een activiteit nodig van minimaal $2{,}0 \cdot 10^{7}$ Bq.

4p **10** Voer de volgende opdrachten uit:

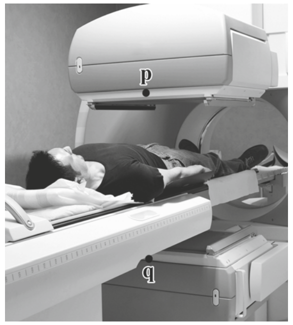
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage of Tc-99m aan deze eis voldoet.
- Leg met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage uit waarom er meer tracer toegediend moet worden bij stoffen met halveringstijden van 60 uur en 0,6 uur om tot dezelfde activiteit te komen 3,0 uur na het toedienen.

Uitwerkbijlage bij vraag 10



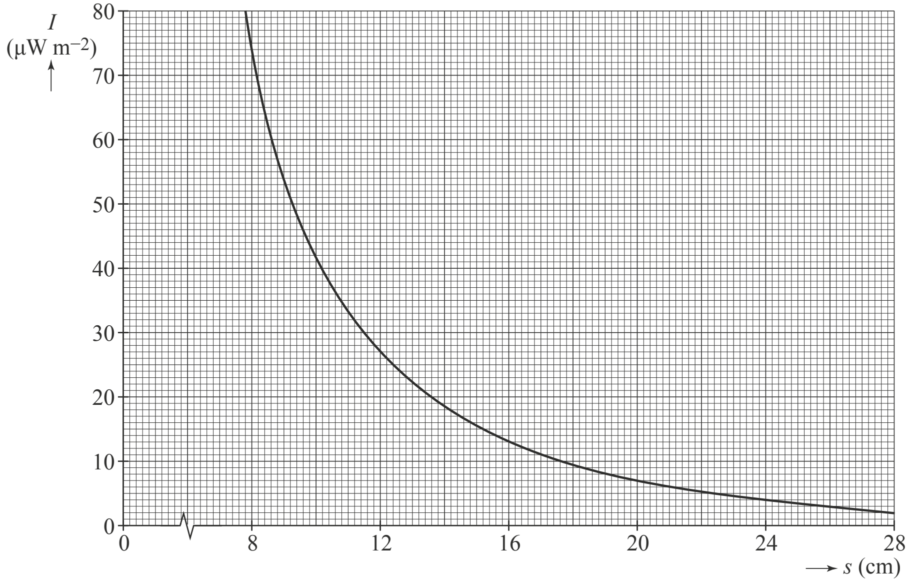
De plaats van de tracer kan worden bepaald door twee fotondetectoren p en q rond de patiënt te plaatsen, zie figuur 1. Deze detectoren meten de intensiteit van de uitgezonden straling.

figuur 1



De detector meet een lagere intensiteit *I* van de straling als de afstand tot de tracer groter is. Het verband tussen de intensiteit van de straling en de afstand die deze straling heeft afgelegd in menselijk weefsel is weergegeven in figuur 2.

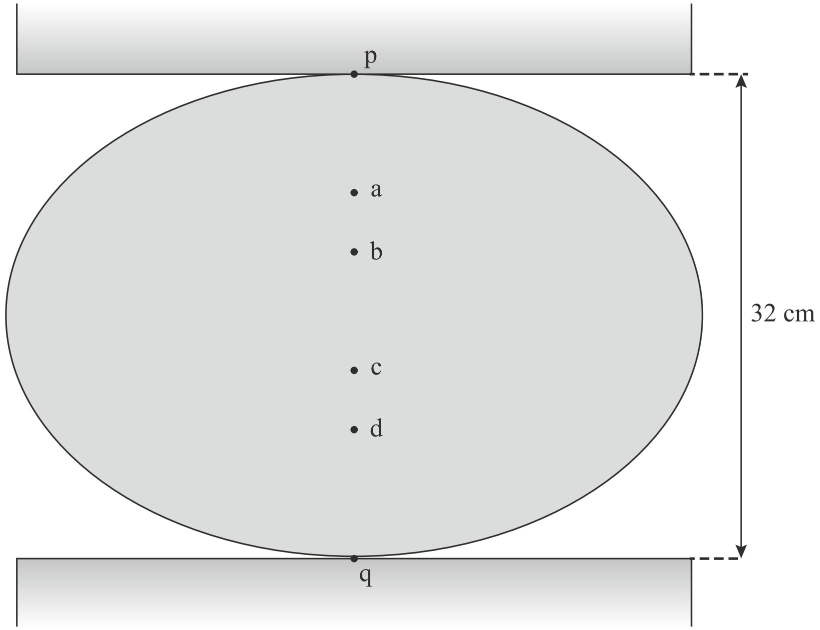
figuur 2



1p **11** Geef een reden voor het afnemen van de intensiteit *I* als de afstand tot de tracer toeneemt.

Tijdens een meting worden detectoren p en q tegen de patiënt geschoven. De afstand tussen p en q is dan 32 cm. In figuur 3 is dit schematisch en op schaal weergegeven. In de tekening komt 1 cm overeen met 5 cm in werkelijkheid.

figuur 3



De intensiteit *I* die detector p meet, is 4 keer zo groot als de intensiteit *I* die detector q meet.

3p **12** Beredeneer met behulp van de figuren 2 en 3 of de tracer zich in a, b, c of d bevindt.

Road-train

Een 'road-train' is een lange combinatie die bestaat uit een vrachtwagen met meerdere aanhangers, zie figuur 1.

figuur 1

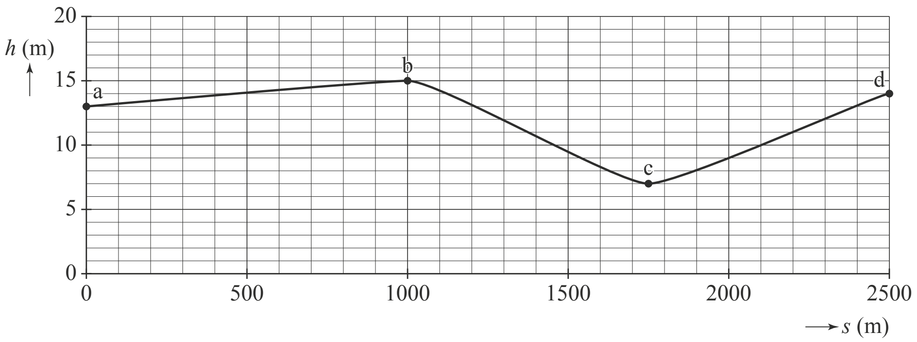
Road-trains worden vooral veel gebruikt voor de lange reisafstanden in Australië. De maximale snelheid voor een road-train is 90 km h^{-1}. Op de uitwerkbijlage is een kaart van een deel van Australië gegeven met mogelijke routes voor road-trains.

3p **13** Bepaal met behulp van de kaart op de uitwerkbijlage hoeveel uur een reis van Port Augusta naar Port Lincoln minstens zal duren.

uitwerkbijlage bij vraag 13

Een deel van de route gaat over een licht glooiende weg. De hele weg wordt met een constante snelheid van 90 km h^{-1} afgelegd.
In figuur 2 staat de hoogte van deze weg als functie van de afgelegde afstand uitgezet.

figuur 2



In deze figuur zijn drie trajecten ab, bc en cd aangegeven. De motor van een road-train met een massa van 160 ton moet op traject ab meer vermogen leveren dan op een horizontale weg.

4p **14** Bereken hoeveel extra vermogen de motor van deze road-train op traject ab moet leveren.

Op de uitwerkbijlage staan drie beweringen over deze drie trajecten van de route van de road-train.

2p **15** Geef op de uitwerkbijlage van elke bewering aan of die juist of onjuist is.

uitwerkbijlage bij vraag 15

bewering	juist	onjuist
Op traject ab is de zwaartekracht op de road-train het grootst.		
De normaalkracht op de road-train is het grootst op traject bc.		
De tijd die nodig is om traject cd af te leggen is het langst.		

Road-trains zijn veel zwaarder dan normale vrachtwagens. In het verkeer kan dit een groter risico opleveren.
De Australische regering heeft daarom een onderzoek laten uitvoeren naar verschillen in rijeigenschappen tussen een road-train en een gewone vrachtwagen op een vlakke weg. In een bepaalde test werden na de eerste 100 m van een traject de tijd en de snelheid gemeten. De beginsnelheid was 0 m s^{-1}, de versnelling was constant.
In figuur 3 staat een tabel met de resultaten van dit onderzoek. Twee waarden ontbreken nog in deze tabel.

figuur 3

	massa (ton)	tijd (s)	snelheid (m s^{-1})	kracht (kN)	kinetische energie (MJ)
vrachtwagen	40	19,2	10,4	22	2,2
road-train	160	28,2	7,09		

Een onderzoeker beweerde:
1 De motor van de road-train van 160 ton levert over deze 100 m meer kracht dan de motor van de vrachtwagen van 40 ton.
2 De road-train van 160 ton heeft na 100 m meer kinetische energie dan de vrachtwagen van 40 ton.

4p **16** Geef op de uitwerkbijlage aan of deze beweringen juist of onjuist zijn.
Bereken hiervoor eerst de ontbrekende waarden voor de kracht en de kinetische energie van de road-train van 160 ton.

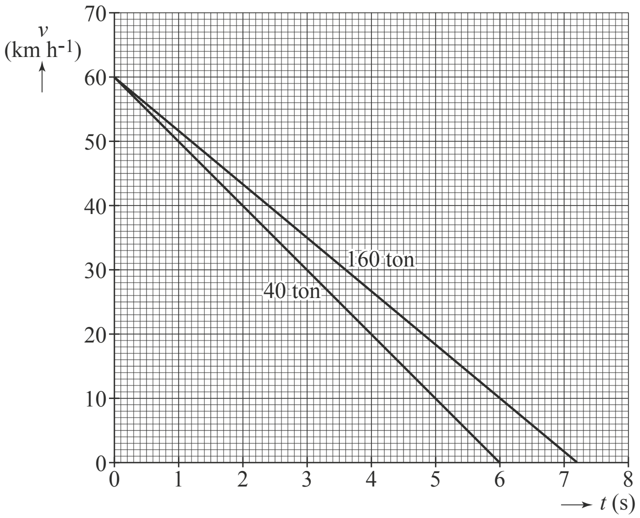
uitwerkbijlage bij vraag 16

bewering	juist	onjuist
De motor van de road-train van 160 ton levert over deze 100 m meer kracht dan de motor van de vrachtwagen van 40 ton.		
De road-train van 160 ton heeft na 100 m meer kinetische energie dan de vrachtwagen van 40 ton.		

In een andere test werd er met de twee voertuigen een noodstop gemaakt vanaf 60 km h^{-1} tot stilstand.
In figuur 4 is het (v,t)-diagram hiervan weergegeven.

3p **17** Bepaal met behulp van figuur 4 het verschil in remweg tussen de twee voertuigen.

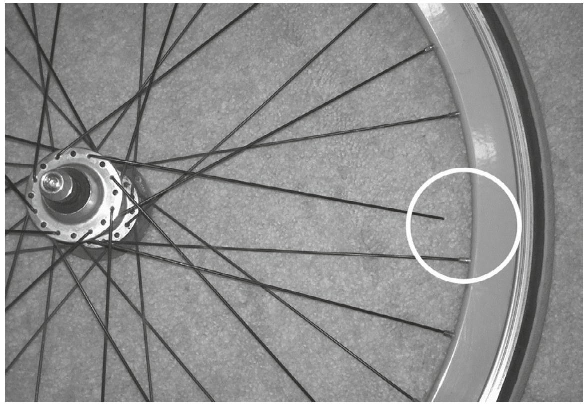
figuur 4



Metaalmoeheid

Soms kan een spaak in een fietswiel plotseling breken, zie figuur 1. In een onderzoek naar de oorzaak hiervan, worden roestvrijstalen spaken in een fietswiel gemonteerd. Als een spaak in het fietswiel wordt gemonteerd, wordt de spaak ook gespannen. Dit wordt voorspannen genoemd.
In dit onderzoek krijgt een roestvrijstalen spaak een spanning van 190 MPa (= $190 \cdot 10^6$ N m^{-2}). De doorsnede van de spaak is 2,63 mm^2.

figuur 1



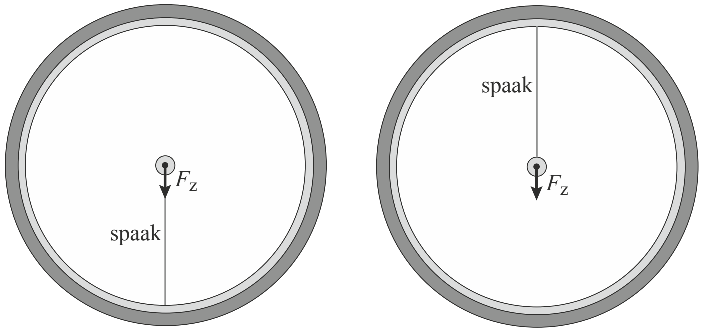
3p **18** Bereken de spankracht in de voorgespannen spaak.

2p **19** Bereken de (relatieve) rek van de voorgespannen spaak.

Een spaak kan breken bij een spanning die kleiner is dan de treksterkte van het metaal. De breuk wordt dan veroorzaakt doordat het metaal is verzwakt door het afwisselend afnemen en toenemen van de spanning. Dit verschijnsel wordt metaalmoeheid genoemd.

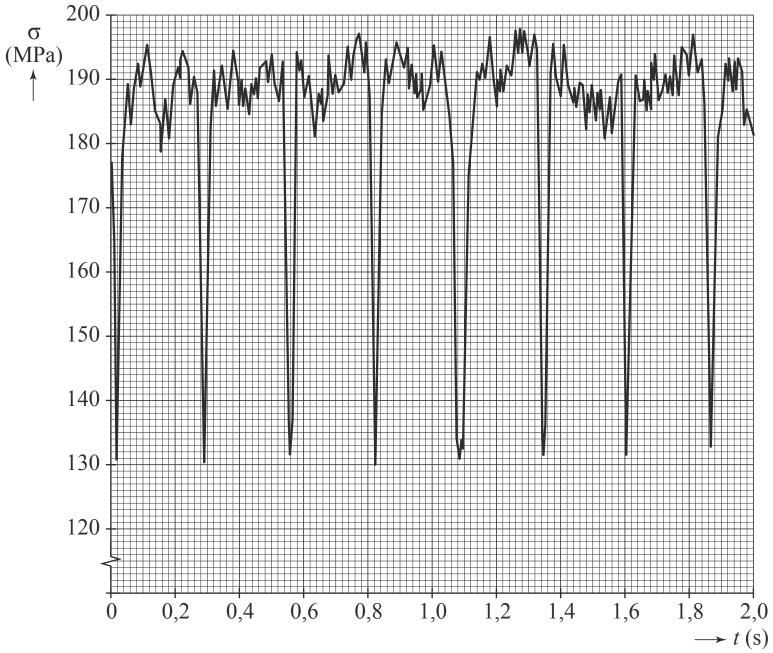
In figuur 2 is schematisch getekend hoe metaalmoeheid kan optreden in de spaak van een fietswiel. Door de zwaartekracht F_z op de fiets en de fietser wordt de spaak afwisselend ingeduwd (links) en uitgerekt (rechts).

figuur 2



In het onderzoek is de spanning in de spaak gemeten tijdens het fietsen. In figuur 3 zijn de meetresultaten weergegeven.

figuur 3



2p **20** Bepaal met behulp van figuur 3 de frequentie in 3 significante cijfers waarmee de spanning tijdens het fietsen wisselt.

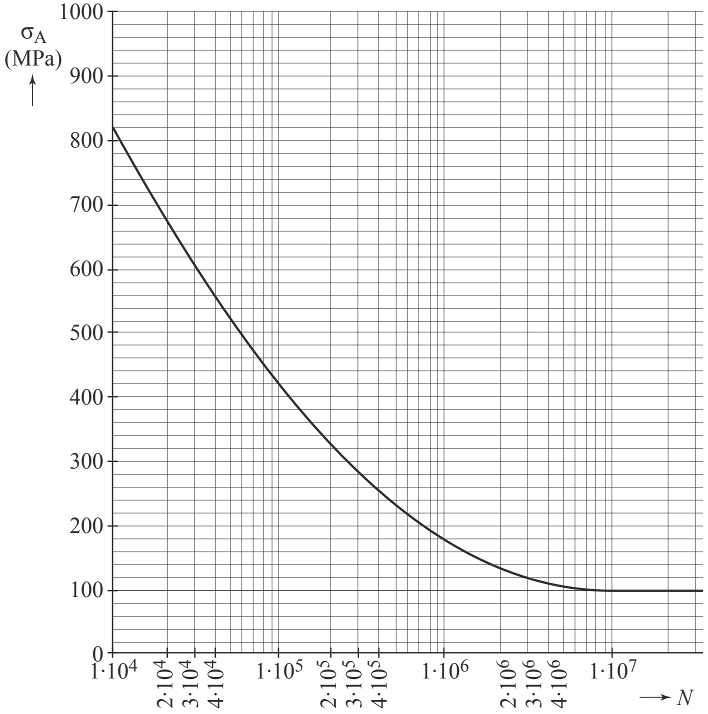
Bij metaalmoeheid hangt de levensduur van een spaak af van de spanningsamplitude.

Voor de spanningsamplitude geldt: $\sigma_A = \dfrac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$.

De levensduur N is het aantal wielomwentelingen dat de spaak kan ondergaan tot hij breekt.

In figuur 4 is het (σ_A,N)-diagram van de spaak in dit onderzoek gegeven. De horizontale as heeft een niet-lineaire schaalverdeling.

figuur 4



4p **21** Beantwoord met behulp van de figuren 3 en 4 de volgende vragen:
- Bepaal de spanningsamplitude van de spaak.
- Leg hiermee uit of deze spaak $1 \cdot 10^7$ wielomwentelingen kan halen.

Vervolgens wordt de spaak strakker aangespannen. De voorspanning en de spanningsamplitude worden hierdoor verhoogd. De spanningsamplitude σ_A wordt nu 120 MPa.
De diameter van het gebruikte wiel is 70 cm.

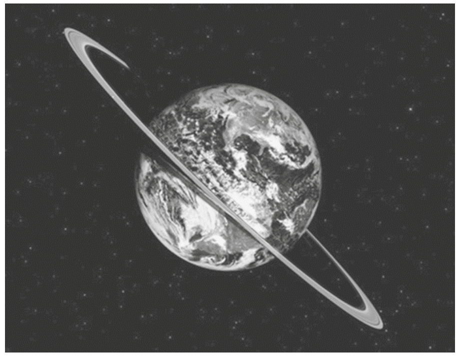
3p **22** Bepaal met behulp van figuur 4 na hoeveel kilometer de spaak zal breken.

Naaldjes rond de aarde

In de tijd van de Koude Oorlog droomde het Amerikaanse leger van communicatiesatellieten in de ruimte.

Men kwam op het idee om een kunstmatige ring van kleine koperen naaldjes rond de aarde te maken. Via die naaldjes kon er dan met radiosignalen over grote afstanden gecommuniceerd worden.

figuur 1



Op 9 mei 1963 werden $480 \cdot 10^6$ kleine koperen naaldjes in een ring om de aarde gebracht. Figuur 1 geeft een artist's impression van deze ring om de aarde.

Elk cilindervormig naaldje was 1,8 cm lang en had een massa van 40 µg.

De diameter van een mensenhaar is 50 µm.

3p **23** Laat met een berekening zien of zo'n naaldje dunner is dan een mensenhaar.

De lengte van een naaldje was gelijk aan de helft van de golflengte van de microgolfstraling die voor de communicatie werd gebruikt.

3p **24** Bereken de frequentie van deze straling.

Als een naaldje door deze straling werd geraakt, ging het als een antenne werken. Het naaldje zond dan deze straling weer uit.
Het lukte om signalen met $2{,}0 \cdot 10^4$ bits per seconde te verzenden via de naaldjes in de ruimte. Een digitale foto van nu is 5 megabyte (MB). In het dataverkeer is 1 byte gelijk aan 8 bits.

2p **25** Bereken hoeveel uur het zou duren om een foto van 5 MB via de naaldjes te verzenden.

De naaldjes bewogen op $3{,}70 \cdot 10^3$ km boven de evenaar in een cirkelbaan rond de aarde. Voor de snelheid van een naaldje geldt:

$$v = \sqrt{G\frac{M}{r}}$$

Hierin is:
- G de gravitatieconstante;
- M de massa van de aarde;
- r de straal van de cirkelbaan.

Er waren veel naaldjes nodig om gedurende langere tijd signalen te kunnen versturen. Een enkel naaldje was maar kort binnen bereik van de zender op aarde. Dit was omdat de omlooptijd van een naaldje om de aarde korter was dan de tijd T_{aarde} die de aarde nodig heeft voor een rotatie om haar eigen as.

4p **26** Bereken de omlooptijd van een naaldje.

De baanstraal en de snelheid van een naaldje werden constant beschouwd.

2p **27** Omcirkel in elke zin op de uitwerkbijlage het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 27

- De naaldjes bevonden zich **hoger dan / in / lager dan** de geostationaire baan.
- De middelpuntzoekende kracht op een naaldje was **groter dan / kleiner dan / gelijk aan** de gravitatiekracht op een naaldje.

De ring van naaldjes bleef uiteindelijk niet intact.
Inmiddels zijn bijna alle $480 \cdot 10^6$ naaldjes gelijkmatig verdeeld weer op de aarde terechtgekomen op een strook die 20% van het aardoppervlak in beslag neemt. De NASA was van plan om enkele naaldjes te gaan zoeken om te bestuderen wat het effect van een verblijf in de ruimte geweest is.
Om de haalbaarheid van deze zoektocht te beoordelen was het voor de NASA belangrijk in te schatten hoeveel naaldjes er per km^2 te vinden zouden zijn.

3p **28** Bereken hoeveel naaldjes er gemiddeld per km^2 terechtgekomen zijn.

Hints bij examen 2017-I

1 Waaraan geeft de weerstandsdraad van het oude type doorstroomverwarmer zijn warmte af?

2 Vul de waarden van de grootheden in de formule in.

3 Zie Binas 35D1.

4 – Als Q gesloten wordt, worden R_1 en R_2 parallel geschakeld aan R_3 en R_4.
– Gebruik de wet van Ohm.
– Bedenk dat U = constant.

5 In de doorstroomverwarmer wordt het vermogen automatisch aangepast.

6 Wat is het verband tussen ρ, R, A en ℓ?

7 Zie Binas 25A, 40A of 99.

8 Hoeveel dagen is de halveringstijd van Mo-99?

9 Zie Binas 35E2.

10 – Bepaal de activiteit A op t = 3,0 h (zie Binas 35E3).
– Let op de steilheid van de grafieken op t = 3,0 h.

11 Wat gebeurt er in het menselijk weefsel met de straling?

12 Maak gebruik van de schaalfactor van figuur 3.

13 Met hoeveel km komt 1,0 cm op de kaart overeen?

14 Bereken de toename van de zwaarte-energie op het traject.

15 – $F_z = m \cdot g$.
– F_n = component van F_z die loodrecht op de weg staat.
– De snelheid van de road-train is constant.

16 – Zie Binas 35A1 en 35A3.
– Zie Binas 35A4.

17 Waaraan is in een (v,t)-diagram de afgelegde weg gelijk?

18 Zie Binas 35A6.

19 Zoek de elasticiteitsmodulus op van roestvrij staal.

20 Bereken eerst de tijd van één omwenteling van het fietswiel.

21 – Lees σ_{max} en σ_{min} af in figuur 3.
– Maak gebruik van figuur 4.

22 Hoe groot is bij σ_A = 120 MPa het aantal omwentelingen van de spaak tot hij breekt?

23 Maak gebruik van Binas 8 en 36B.

24 Wat is het verband tussen c, f en λ?

25 Uit hoeveel bits bestaat één foto?

26 Zoek in Binas de straal R en de massa M van de aarde op.

27 – Zie Binas 30F.
– De baanstraal van een naaldje is constant.

28 Zie Binas 36B voor de oppervlakte van de aarde.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2017-I

Elektrische doorstroomverwarmer

1p **1** Bij het nieuwe type doorstroomverwarmer wordt de warmte van de weerstandsdraad direct aan het water afgegeven. Daardoor gaat er minder energie verloren aan de buitenlucht dan bij het oude type het geval is.
Ook goed is: bij het nieuwe type wordt er minder warmte afgegeven aan de waterleiding dan bij het oude type.

2p **2** We berekenen de (minimale) temperatuurstijging ΔT bij dit type doorstroomverwarmer met de vuistregel:

$P = 70 \cdot debiet \cdot \Delta T$ [1p] $\Rightarrow \Delta T = \dfrac{P}{70 \cdot debiet}$, waarin:

P = maximaal vermogen = 5000 W
$debiet$ = maximaal debiet = 2,9 L min^{-1}

Invullen: $\Delta T = \dfrac{5000}{70 \cdot 2{,}9} = 25$ K [1p]

°C in plaats van K is ook toegestaan.

3p **3** Voor de maximale stroomsterkte I van deze doorstroomverwarmer geldt:

$P = U \cdot I$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow I = \dfrac{P}{U}$, waarin:

P = maximaal vermogen = 5000 W
U = spanning = 230 V

Invullen: $I = \dfrac{5000}{230} = 21{,}7$ A [1p]

Voor deze doorstroomverwarmer is een zekering van 25 A het meest geschikt. De zekeringen van 16 A en 20 A zullen bij een stroomsterkte van 21,7 A doorbranden en de zekering van 40 A brandt niet door als de weerstandsdraad te hoog zou worden belast. [1p]

2p **4** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

Als schakelaar Q ook wordt gesloten, geldt dat:

– de totale weerstand van de doorstroomverwarmer **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**. (afneemt omcirkeld)

– de totale stroomsterkte door de weerstandsdraden samen daardoor **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**. (toeneemt omcirkeld)

– het vermogen van de doorstroomverwarmer daardoor **toeneemt / afneemt / gelijk blijft**. (toeneemt omcirkeld)

– *Als Q ook wordt gesloten, worden R_1 en R_2 parallel geschakeld aan de parallel geschakelde weerstanden R_3 en R_4. Dan wordt de totale geleidbaarheid G_{tot} van de doorstroomverwarmer groter volgens $G_{tot} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$*
$\Rightarrow$ de totale weerstand $R_{tot} = \dfrac{1}{G_{tot}}$ neemt af. [1p]
– *Volgens $U = I_{tot} \cdot R_{tot}$ (Binas 35D1) neemt I_{tot} toe als R_{tot} afneemt (U = constant).*
– *Volgens $P = U \cdot I_{tot}$ (Binas 35D1) neemt P toe als I_{tot} toeneemt (U = constant).* [1p]

©ThiemeMeulenhoff

1p **5** Grafiek A geeft het verloop bij benadering het beste weer.
Als het debiet groter wordt, neemt de temperatuur T van het uitstromende water in eerste instantie af. B en D geven het verloop van de temperatuur dus niet goed weer. In de doorstroomverwarmer wordt het vermogen automatisch aangepast aan het grotere debiet, waardoor de temperatuur weer toeneemt tot een bepaalde maximale waarde. Grafiek C geeft het verloop dus niet goed weer.

4p **6** De maximale stroomsterkte I die door deze waterkolom gaat lopen, berekenen we met: $U = I \cdot R$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I = \frac{U}{R}$, waarin:

U = spanning van de spanningsbron = 230 V
R = weerstand van de waterkolom

Er geldt: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$, met:

ρ = soortelijke weerstand van water = $1{,}3 \cdot 10^5\ \Omega$ m
ℓ = lengte van de waterkolom = 5,0 cm = $5{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

A = doorsnede van de waterkolom = $\pi \cdot r^2$ [1p] $= \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$ (Binas 36B), met:

r = straal van de doorsnede
d = diameter van de doorsnede = 15 mm = $15 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $A = \pi \cdot \left(\frac{15 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 1{,}77 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$

zodat: $R = \frac{1{,}3 \cdot 10^5 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2}}{1{,}77 \cdot 10^{-4}} = 3{,}67 \cdot 10^7\ \Omega$

Invullen: $I = \frac{230}{3{,}67 \cdot 10^7} = 6{,}3 \cdot 10^{-6}$ A [1p]

Molybdeen-99

3p **7** $^{98}_{42}\text{Mo} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{99}_{42}\text{Mo}$

- *Een neutron heeft massagetal 1 en lading 0, dus wordt weergegeven als* $^1_0$*n.* [1p]
- *Het atoomnummer van Mo-99 is 42* [1p] *(Binas 25A, 40A of 99).*
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn, dus het atoomnummer van de beschoten isotoop is 42 – 0 = 42.*
  Dit element is dus ook molybdeen (Mo).
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn.*
  Het massagetal van het beschoten molybdeen is dus 99 – 1 = 98. [1p]

1p **8** **A** minder dan 25%.
Volgens Binas 25A heeft Mo-99 een halveringstijd van 65,9 h. Dat is iets minder dan 3 dagen.
Na ± 3 dagen is er dus ongeveer 50% over van de oorspronkelijke hoeveelheid Mo-99.
Na ± 6 dagen is er ongeveer 25% over. Na een week (7 dagen) is er dus minder over dan 25%.

4p **9** We berekenen de golflengte λ van dit foton met:

$c = f \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35E2) $\Rightarrow$ $\lambda = \frac{c}{f}$, waarin:

c = lichtsnelheid = $2{,}998 \cdot 10^8\ \text{m s}^{-1}$ (Binas 7A)

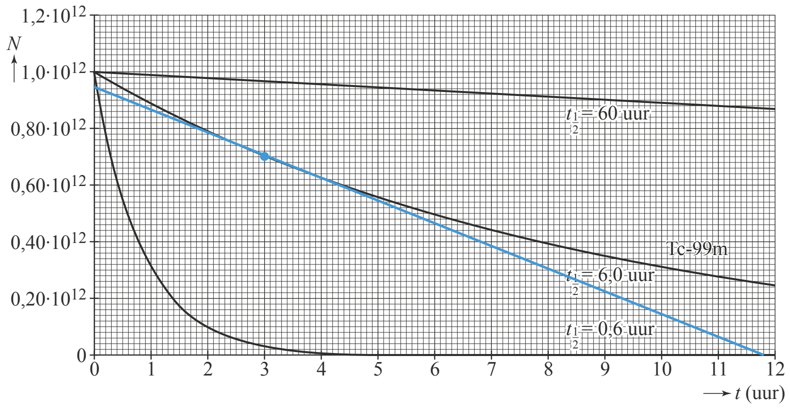
f = frequentie van het foton. Er geldt $E = h \cdot f$ [1p] (Binas 35E2) $\Rightarrow$ $f = \frac{E}{h}$, met:

E = energie van het foton = 0,141 MeV = $0{,}141 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J [1p] (Binas 5) = $= 2{,}259 \cdot 10^{-14}$ J
h = constante van Planck = $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s (Binas 7A)

zodat: $f = \frac{2{,}259 \cdot 10^{-14}}{6{,}626 \cdot 10^{-34}} = 3{,}409 \cdot 10^{19}$ Hz

Invullen: $\lambda = \frac{2{,}998 \cdot 10^8}{3{,}409 \cdot 10^{19}} = 8{,}79 \cdot 10^{-12}$ m [1p]

4p **10** – Zie de tekening.



Voor de activiteit A geldt: $A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$ (Binas 35E3), waarin:

N = aantal fotonen op tijdstip t
We bepalen de activiteit A (3,0) van Tc-99m na 3,0 uur door een raaklijn aan de grafiek te tekenen op t = 3,0 h. [1p] We lezen af in de tekening:

$$A(3{,}0) = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = -\frac{0{,}0 \cdot 10^{12} - 0{,}95 \cdot 10^{12}}{(11{,}8 - 0{,}0) \cdot 3600\ \text{s}} = 2{,}2 \cdot 10^7\ \text{Bq}\ [1p]$$

Dat is meer dan de benodigde activiteit van $2{,}0 \cdot 10^7$ Bq, dus Tc-99m voldoet aan de eis. [1p]
– Zie de tekening.
Op t = 3,0 h zijn de raaklijnen aan de andere twee grafieken (die van $t_{\frac{1}{2}}$ = 60 uur en die van $t_{\frac{1}{2}}$ = 0,6 uur) minder steil dan de raaklijn aan de grafiek van Tc-99m.
De activiteit van deze stoffen op t = 3,0 h is dus kleiner dan $2{,}0 \cdot 10^7$ Bq. [1p]
Er moet dan dus een grotere hoeveelheid van deze tracers worden toegediend.

1p **11** Als de afstand tot de tracer toeneemt, zal in het menselijk weefsel meer straling worden geabsorbeerd, waardoor de gemeten intensiteit I afneemt.
Ook goed is: de intensiteit I zal afnemen, doordat op een grotere afstand van de tracer de straling zich zal verspreiden over een steeds groter gebied.

3p **12** Detector p meet een 4 maal grotere intensiteit dan detector q, dus de tracer zal zich dichter bij p dan bij q bevinden. De tracer bevindt zich dus in a of in b. [1p]
Stel dat de tracer zich in a bevindt.
De afstand *ap* is 1,6 cm x *schaalfactor* = 1,6 x 5 = 8 cm (opgemeten in figuur 3).
p meet in dit geval een intensiteit van 75 μW m^{-2} (afgelezen in figuur 2).
De afstand *aq* is 4,8 cm x *schaalfactor* = 4,8 x 5 = 24 cm (opgemeten in figuur 3).
q meet in dit geval een intensiteit van 4 μW m^{-2} (afgelezen in figuur 2). [1p]
Als de tracer zich in a zou bevinden, meet detector p een intensiteit die $\frac{75}{4}$ = 19 maal zo groot is als de intensiteit die q meet. De tracer bevindt zich dus niet in a, maar in b. [1p]
Ga zelf met een berekening na dat p een 4 maal zo grote intensiteit meet als q, wanneer de tracer zich in b bevindt.

Road-train

3p **13** De tijd *t* die de road-train er minstens over doet om van Port Augusta naar Port Lincoln te rijden, volgt uit:

$s = v \cdot t$ [1p] (Binas 35A1) $\Rightarrow t = \frac{s}{v}$, waarin:

s = afstand tussen Port Augusta en Port Lincoln. Op de kaart van de bijlage is deze afstand, gemeten langs een rechte lijn, 5,0 cm. Deze afstand is in werkelijkheid 5,0 · 60 km = 300 km [1p]
v = maximale snelheid van de road-train = 90 km h^{-1}

Invullen: $t = \frac{300}{90}$ = 3,3 h [1p]

Elke gemeten afstand tussen 4 en 6 cm werd op het examen goed gerekend.

4p **14** Het extra vermogen *P* berekenen we met: $P = \frac{W}{t}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

W = extra arbeid die verricht moet worden voor het stijgen =
= $m \cdot g \cdot \Delta h$ [1p] (Binas 35A4), met:
m = massa van de road-train = 160 ton = 160 · 10^3 kg (Binas 5)
g = versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Δh = hoogteverschil tussen begin- en eindpunt van traject ab =
= 15,0 – 13,0 = 2,0 m [1p] (afgelezen in figuur 2)
zodat: $W = 160 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}0 = 3{,}14 \cdot 10^6$ J
t = tijd die de road-train erover doet om traject ab af te leggen. Er geldt:

$s = v \cdot t$ (Binas 35A1) $\Rightarrow t = \frac{s}{v}$, met:

s = afgelegde weg = 1000 m (afgelezen in figuur 2)

v = snelheid van de road-train = 90 km h^{-1} = $\frac{90 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$ = 25 m s^{-1}

zodat: $t = \frac{1000}{25}$ = 40 s

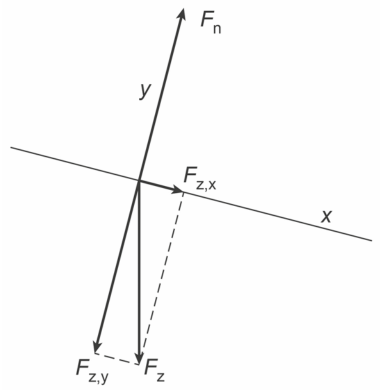
Invullen: $P = \frac{3{,}14 \cdot 10^6}{40} = 7{,}9 \cdot 10^4$ W [1p]

©ThiemeMeulenhoff

2p **15** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

bewering	juist	onjuist
Op traject ab is de zwaartekracht op de road-train het grootst.		X
De normaalkracht op de road-train is het grootst op traject bc.		X
De tijd die nodig is om traject cd af te leggen is het langst.		X

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
– *De zwaartekracht $F_z = m \cdot g$ (Binas 35A3) is op elk traject even groot.*
– *Zie de tekening.*



Op elk traject geldt: de normaalkracht F_n op de road-train is gelijk aan de component van de zwaartekracht F_z die loodrecht staat op de weg ($F_{z,y}$).
$F_n = F_{z,y}$ is kleiner dan F_z. Hoe steiler de weg, hoe kleiner $F_{z,y}$, dus hoe kleiner F_n.
Het traject bc is het steilst, dus daar is de normaalkracht juist het kleinst.
– *Traject ab is langer dan traject cd (zie figuur 2), dus bij een constante snelheid van 90 km h^{-1} zal de road-train over traject ab langer doen dan over traject cd.*

4p **16** – We berekenen de resulterende kracht *F* die de road-train uitoefent met:

$F = m \cdot a$ (Binas 35A3) $= m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$ [1p] (Binas 35A1), waarin:

m = massa van de road-train = 160 ton = 160 · 10^3 kg (Binas 5)
Δv = snelheid van de road-train na 100 m = 7,09 m s^{-1} (afgelezen in figuur 3)
Δt = benodigde tijd = 28,2 s (afgelezen in figuur 3)

Invullen: $F = 160 \cdot 10^3 \cdot \frac{7{,}09}{28{,}2} = 40{,}2 \cdot 10^3$ N = 40,2 kN

De kracht *F* is dus groter dan bij de vrachtwagen. [1p]
De resulterende kracht F van de road-train kan ook als volgt worden berekend:

$W = F \cdot s$ (Binas 35A4) $\Rightarrow$

$\Rightarrow F = \frac{W}{s} = \frac{E_k}{s} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{s}$ [1p] $= \frac{\frac{1}{2} \cdot 160 \cdot 10^3 \cdot 7{,}09^2}{100} = 40{,}2 \cdot 10^3 \text{ N} = 40{,}2 \text{ kN}$

©ThiemeMeulenhoff

– De kinetische energie E_k van de road-train wordt berekend met:

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) $= \frac{1}{2} \cdot 160 \cdot 10^3 \cdot 7{,}09^2 = 4{,}02 \cdot 10^6$ J = 4,02 MJ

De kinetische energie is dus groter dan die van de vrachtwagen. [1p]
Zie nu de ingevulde bijlage:

bewering	juist	onjuist
De motor van de road-train van 160 ton levert over deze 100 m meer kracht dan de motor van de vrachtwagen van 40 ton.	X	
De road-train van 160 ton heeft na 100 m meer kinetische energie dan de vrachtwagen van 40 ton.	X	

3p **17** De remweg van een voertuig komt overeen met de oppervlakte onder het (v,t)-diagram van het voertuig (zie figuur 4). [1p]
Beide voertuigen gaan de remweg in met een snelheid van 60 km h^{-1} =

$= \frac{60.000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 16{,}7$ m s^{-1}

De remweg van de road-train is dus $\frac{1}{2} \cdot 7{,}2 \cdot 16{,}7 = 60{,}1$ m en de remweg van de vrachtwagen is $\frac{1}{2} \cdot 6{,}0 \cdot 16{,}7 = 50{,}1$ m [1p]

Het verschil in remweg tussen de twee voertuigen is dus 60,1 – 50,1 = 10 m [1p]

Metaalmoeheid

3p **18** Voor de spankracht F in de voorgespannen spaak geldt:

$\sigma = \frac{F}{A}$ [1p] (Binas 35A6) $\Rightarrow F = \sigma \cdot A$, waarin:

σ = mechanische spanning in de spaak = $190 \cdot 10^6$ N m^{-2}
A = doorsnede van de spaak = 2,63 mm^2 = $2{,}63 \cdot 10^{-6}$ m^2 [1p]
Invullen: $F = 190 \cdot 10^6 \cdot 2{,}63 \cdot 10^{-6} = 5{,}00 \cdot 10^2$ N [1p]

2p **19** Voor de (relatieve) rek ε van de voorgespannen spaak geldt:

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (Binas 35A6) $\Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ [1p], waarin:

E = elasticiteitsmodulus van roestvrij staal = $0{,}20 \cdot 10^{12}$ Pa (Binas 9)
σ = mechanische spanning in de spaak = 190 MPa = $190 \cdot 10^6$ Pa

Invullen: $\varepsilon = \frac{190 \cdot 10^6}{0{,}20 \cdot 10^{12}} = 9{,}5 \cdot 10^{-4}$ [1p]

In Binas 10B wordt voor de elasticiteitsmodulus van roestvrij staal opgegeven: $200 \cdot 10^9$ Pa. Deze waarde heeft 3 significante cijfers. Bij gebruik van deze waarde krijgt de uitkomst van de berekening 3 significante cijfers, dus: $\varepsilon = \frac{190 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9} = 9{,}50 \cdot 10^{-4}$

In Science Data tabel 1.9 b1 wordt voor de elasticiteitsmodulus van roestvrij staal opgegeven: $195 \cdot 10^9$ Pa. De berekening van ε levert dan op: $\varepsilon = \frac{190 \cdot 10^6}{195 \cdot 10^9} = 9{,}74 \cdot 10^{-4}$

©ThiemeMeulenhoff

2p **20** We berekenen de frequentie f waarmee de spanning tijdens het fietsen wisselt met:

$f = \frac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = tijd van één omwenteling van het fietswiel. In figuur 3 lezen we af dat er 7 omwentelingen plaatsvinden in een tijd van (1,87 – 0,02) s = 1,85 s

Dus: $T = \frac{1{,}85}{7} = 0{,}2643$ s [1p]

Invullen: $f = \frac{1}{0{,}2643} = 3{,}78$ Hz [1p]

De berekening kan ook als volgt: de frequentie f is het aantal omwentelingen per seconde. Volgens figuur 3 maakt de spaak 7 omwentelingen in 1,85 s, dus:

$f = \frac{7}{1{,}85} = 3{,}78$ Hz

4p **21** – Voor de spanningsamplitude σ_A van de spaak geldt:

$\sigma_A = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ [1p], waarin:

σ_{max} = maximale spanning op de spaak = 198 MPa (afgelezen in figuur 3)
σ_{min} = minimale spanning op de spaak = 130 MPa (afgelezen in figuur 3)

Invullen: $\sigma_A = \frac{198 - 130}{2} = 34$ MPa [1p]

– In figuur 4 lezen we af, dat bij een spanningsamplitude van 100 MPa de spaak $1 \cdot 10^7$ omwentelingen kan maken. [1p] De spanningsamplitude van de spaak is lager dan deze waarde (34 MPa, zie vorige antwoord), dus de spaak kan (minimaal) $1 \cdot 10^7$ omwentelingen maken. [1p]

3p **22** De afstand s die de fiets kan rijden tot de spaak breekt, volgt uit:
$s = \ell_{omtrek} \cdot N$, waarin:
ℓ_{omtrek} = omtrek van het wiel = $2\pi \cdot r$ [1p] $= 2\pi \cdot \frac{d}{2} = \pi \cdot d$ (Binas 36B), met:
r = straal van het wiel
d = diameter van het wiel = 70 cm = 0,70 m
zodat: $\ell_{omtrek} = \pi \cdot 0{,}70 = 2{,}20$ m
N = aantal omwentelingen van de spaak tot het breken ervan. Aflezen in figuur 4 bij σ_A = 120 MPa geeft: $N = 3{,}0 \cdot 10^6$ [1p]
Invullen: $s = 2{,}20 \cdot 3{,}0 \cdot 10^6 = 6{,}6 \cdot 10^6$ m = $6{,}6 \cdot 10^3$ km [1p]

Naaldjes rond de aarde

3p **23** De dikte d van zo'n naaldje volgt uit:
$V = A \cdot \ell = \pi \cdot r^2 \cdot \ell = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \ell = \frac{1}{4}\pi \cdot \ell \cdot d^2$ (Binas 36B), waarin:
V = volume van een naaldje

Er geldt: $\rho = \frac{m}{V}$ [1p] (Binas 35C1) $\Rightarrow V = \frac{m}{\rho}$, met:
m = massa van een naaldje = 40 µg = $40 \cdot 10^{-6}$ g = $40 \cdot 10^{-9}$ kg [1p] (Binas 2)
ρ = dichtheid van koper = $8{,}96 \cdot 10^3$ kg m^{-3} (Binas 8)

zodat: $V = \frac{40 \cdot 10^{-9}}{8{,}96 \cdot 10^3} = 4{,}46 \cdot 10^{-12}$ m^3

A = doorsnede van een naaldje
ℓ = lengte van een naaldje = 1,8 cm = $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ m
r = straal van de doorsnede van een naaldje

©ThiemeMeulenhoff

Invullen: $4{,}46 \cdot 10^{-12} = \frac{1}{4}\pi \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-2} \cdot d^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow d = \sqrt{\frac{4{,}46 \cdot 10^{-12}}{\frac{1}{4}\pi \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-2}}} = 18 \cdot 10^{-6}\ \text{m} = 18\ \mu\text{m}$$

Zo'n naaldje is dus dunner dan een mensenhaar. [1p]

3p **24** Voor de frequentie f van deze straling geldt:

$c = f \cdot \lambda$ [1p] (Binas 35E2) $\Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$, waarin:

c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)
λ = golflengte van de straling = 2 x lengte van een naaldje [1p] =
= 2 · 1,8 cm = 3,6 cm = $3{,}6 \cdot 10^{-2}$ m

Invullen: $f = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{3{,}6 \cdot 10^{-2}} = 8{,}3 \cdot 10^9$ Hz [1p]

2p **25** De tijd t die het duurt om een foto van 5 MB via de naaldjes te verzenden, volgt uit:

$$t = \frac{\text{aantal bits van de foto}}{\text{aantal bits dat per seconde wordt verzonden}} = \frac{8 \cdot 5 \cdot 10^6}{2{,}0 \cdot 10^4}\ \text{[1p]} = 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{s} =$$

$$= \frac{2{,}0 \cdot 10^3}{3600}\ \text{h} = 0{,}6\ \text{h}\ \text{[1p]}$$

4p **26** De omlooptijd T van een naaldje vinden we met:

$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ [1p] (Binas 35A2) $\Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot r}{v}$, waarin:

r = straal van de cirkelbaan van een naaldje = $h + R$ [1p], met:
h = hoogte van een naaldje boven de evenaar = $3{,}70 \cdot 10^3$ km = $3{,}70 \cdot 10^6$ m
R = straal van de aarde = $6{,}371 \cdot 10^6$ m (Binas 31)
zodat: $r = 3{,}70 \cdot 10^6 + 6{,}371 \cdot 10^6 = 10{,}071 \cdot 10^6$ m

v = snelheid van een naaldje. Er geldt: $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$ [1p], met:
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
M = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r = straal van de cirkelbaan van een naaldje = $10{,}071 \cdot 10^6$ m (zie hierboven)

zodat: $v = \sqrt{\frac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{10{,}071 \cdot 10^6}} = 6{,}291 \cdot 10^3$ m s^{-1}

Invullen: $T = \frac{2\pi \cdot 10{,}071 \cdot 10^6}{6{,}291 \cdot 10^3} = 1{,}01 \cdot 10^4$ s *(= 2,8 h)* [1p]

2p **27** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

– De naaldjes bevonden zich **hoger dan / in / lager dan** de geostationaire baan. [1p] (omcirkeld: lager dan)

– De middelpuntzoekende kracht op een naaldje was **groter dan / kleiner dan / gelijk aan** de gravitatiekracht op een naaldje. [1p] (omcirkeld: gelijk aan)

– *De hoogte van de stationaire baan ten opzichte van de aarde is $40 \cdot 10^3$ km (Binas 30F). De hoogte van de naaldjes ten opzichte van de aarde is $3{,}70 \cdot 10^3$ km.*
– *Als $F_{mpz} > F_{grav}$, zou het naaldje naar de aarde toe bewegen.*
Als $F_{mpz} < F_{grav}$, zou het naaldje van de aarde af bewegen.

©ThiemeMeulenhoff

3p **28** Voor de hoeveelheid naaldjes N die er gemiddeld per km^2 terecht zijn gekomen, geldt:

$N = \frac{N_{tot}}{A}$, waarin:

N_{tot} = totale aantal naaldjes = $480 \cdot 10^6$
A = oppervlakte van de strook van het aardoppervlak waarop de naaldjes terecht zijn gekomen = 20% van het totale aardoppervlak =
= $0{,}20 \cdot 4\pi \cdot R^2_{aarde}$ [2p] (Binas 36B) = $0{,}20 \cdot 4\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^3)^2 = 1{,}02 \cdot 10^8$ km^2
($R_{aarde} = 6{,}371 \cdot 10^6$ m = $6{,}371 \cdot 10^3$ km; Binas 31)

Invullen: $N = \frac{480 \cdot 10^6}{1{,}02 \cdot 10^8} = 4{,}7$ (naaldjes per km^2) [1p]

©ThiemeMeulenhoff

Examen 2017-II

Panfluit

Janneke maakt voor een praktische opdracht een panfluit.
Een panfluit bestaat uit buizen van diverse lengte.
Zie figuur 1.
Als zij over een buis blaast, gaat de lucht in deze buis trillen en ontstaat er geluid.

figuur 1

Op de uitwerkbijlage staan twee zinnen over de geluidsgolven in deze buis.

2p **1** Omcirkel op de uitwerkbijlage in elke zin het juiste alternatief.

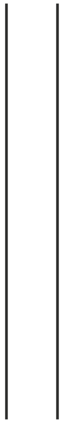
uitwerkbijlage bij vraag 1

In de buis bevinden zich **transversale** / **longitudinale** geluidsgolven met verschillende **snelheden** / **frequenties**.
Er treedt resonantie op zodra de **amplitude** / **golflengte** van een golf in verhouding is met de lengte van de luchtkolom in de buis.

Een buis is weergegeven op de uitwerkbijlage.
Beide uiteinden van deze buis zijn open.

2p **2** Teken in de buis het patroon van knopen (K) en buiken (B) dat hoort bij de grondtoon.

uitwerkbijlage bij vraag 2



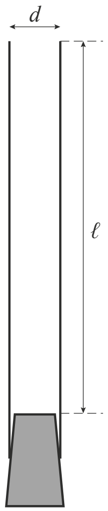
Janneke sluit vervolgens met kurken de onderkant van elke buis af. Zie figuur 2. In een boek over muziekinstrumenten heeft zij gelezen dat bij een panfluit het patroon van knopen en buiken niet precies eindigt in de opening van een buis maar een klein stukje daarbuiten.
Voor de grondtoon geldt de formule:

$$\frac{1}{4}\lambda = \ell + 0{,}31 \cdot d$$

Hierin is ℓ de lengte en d de diameter van de luchtkolom in de buis. Zie figuur 3.

figuur 2

figuur 3

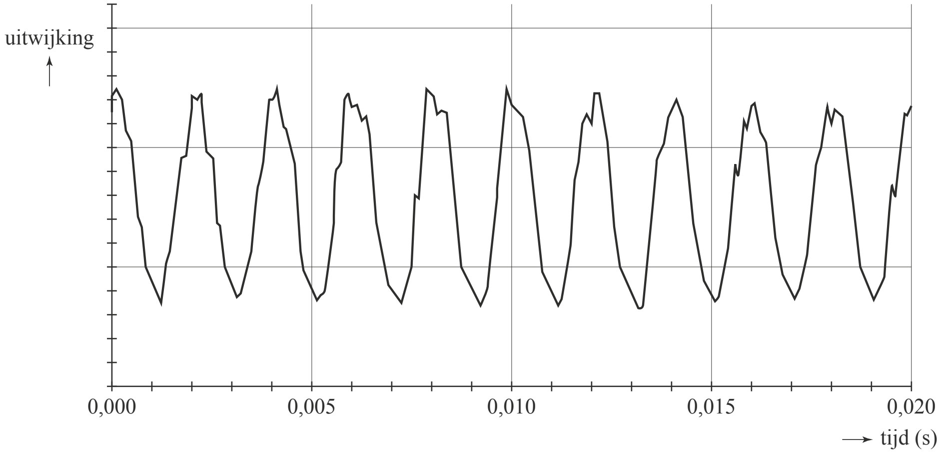


Zij meet de diameter van de luchtkolom in een buis. Deze is 1,8 cm. De buis is 18,8 cm lang. De kurk steekt 1,0 cm in de buis.
Janneke gaat uit van een luchttemperatuur van 20 °C.

4p **3** Bereken de frequentie van de grondtoon die de buis dan laat horen.

Om te controleren of elke buis inderdaad de juiste toon voortbrengt, meet zij met de computer de toon die elke buis produceert. In figuur 4 staat het (u,t)-diagram dat de computer van een van deze buizen heeft gemaakt.

figuur 4



Met dit diagram is de grondtoon van deze buis te bepalen.

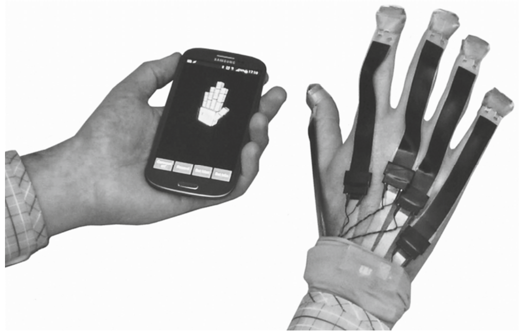
2p **4** Bepaal de frequentie van de grondtoon.

De frequentie van deze grondtoon is hoger dan de waarde die zij had verwacht op basis van een berekening. Janneke denkt dat dit komt doordat de luchttemperatuur in haar panfluit hoger is dan 20 °C.

4p **5** Beantwoord de volgende twee vragen:
- Leg uit of een hogere luchttemperatuur een oorzaak kan zijn van de te hoge frequentie van de grondtoon.
- Leg uit of Janneke de frequentie van de grondtoon op een lagere waarde kan krijgen door de kurk dieper of juist minder diep in de buis te steken.

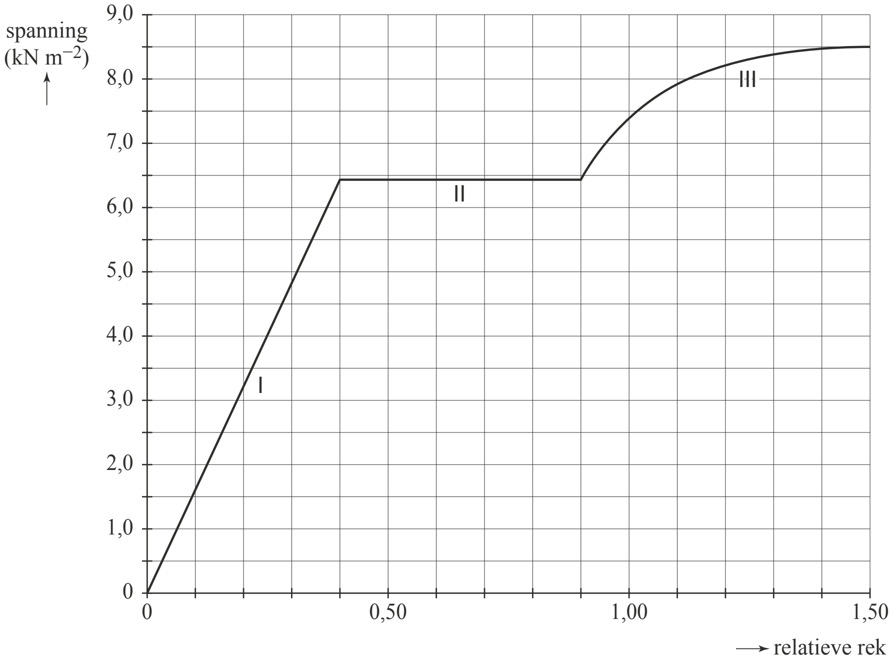
Stretchsensor

Een stretchsensor is een sensor die wordt gebruikt om een lichaamsbeweging om te zetten in een computerbeeld.
Een stretchsensor bevat een strookje rekbaar materiaal, waarvan de elektrische weerstand verandert als het wordt uitgerekt.



In figuur 1 is het spanning-rekdiagram van het rekbare materiaal weergegeven.

figuur 1



In figuur 1 zijn drie gebieden aangegeven. Op de uitwerkbijlage staat een tabel met die drie gebieden.

2p **6** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor elk gebied aan of er elastische, plastische of geen vervorming in het materiaal optreedt.

uitwerkbijlage bij vraag 6

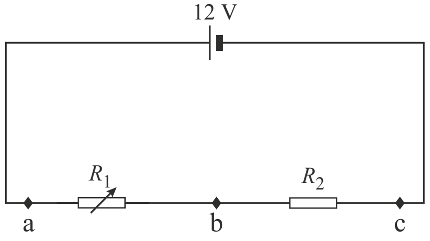
gebied	elastische vervorming	plastische vervorming	geen vervorming
I			
II			
III			

3p **7** Bepaal met behulp van figuur 1 de elasticiteitsmodulus van het materiaal.

De sensor mag de lichaamsbeweging niet hinderen. De kracht die nodig is voor het uitrekken van het materiaal moet dus klein zijn.
Bij het uitrekken krijgt het materiaal op een gegeven moment een relatieve rek van 0,20. De doorsnede van het rekbare materiaal is 1,8 mm^2.

3p **8** Bepaal de kracht waarmee dan aan het materiaal getrokken wordt.

figuur 2



In figuur 2 is het schakelschema gegeven van de stretchsensor.
Het strookje rekbaar materiaal wordt weergegeven als R_1. Als dit strookje wordt uitgerekt, neemt de grootte van de elektrische weerstand van R_1 toe.
R_1 is in serie geschakeld met een weerstand R_2 met een vaste waarde.
Er wordt een voltmeter aangesloten. De spanning die de voltmeter aangeeft, is het signaal van de sensor. Dit signaal moet veranderen met het veranderen van de lengte van R_1.
De voltmeter kan aangesloten worden over de punten ab, bc of ac.

2p **9** Omcirkel op de uitwerkbijlage per aansluiting ab, bc en ac het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 9

De spanning over ab **neemt toe** / **neemt af** / **blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

De spanning over bc **neemt toe** / **neemt af** / **blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

De spanning over ac **neemt toe** / **neemt af** / **blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

De weerstand van R_1 kan variëren van 1,0 kΩ tot 2,5 kΩ.
R_2 is een weerstand van 5,6 kΩ.

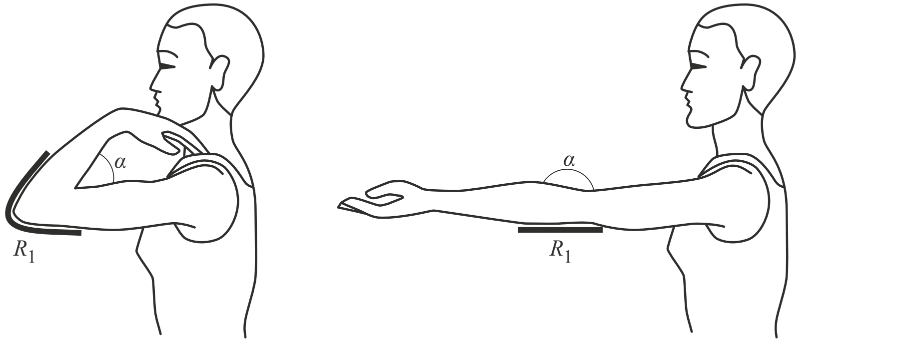
4p **10** Bereken het maximale vermogen dat de spanningsbron moet leveren aan de stretchsensor.

Stretchsensoren worden gebruikt om realistisch bewegende animaties te maken in animatiefilms en games. Hiervoor worden vele stretchsensoren op een pak gezet dat wordt gedragen door een acteur.
De elektronica in dit pak heeft een totaal vermogen van 19 W. Het pak wordt van energie voorzien door een 12 V-accu met een capaciteit van 2,0 Ah. Dat betekent dat de accu gedurende 2,0 h een stroomsterkte kan leveren van 1,0 A, gedurende 1,0 h een stroomsterkte van 2,0 A, enzovoort.

3p **11** Bereken hoeveel uur het pak op deze accu kan werken.

In de arm van het pak is de strook rekbaar materiaal R_1 verbonden met de bovenarm en de onderarm. Als de hoek α die de arm maakt groter wordt, wordt de lengte van het rekbare materiaal R_1 kleiner. Zie figuur 3.

figuur 3



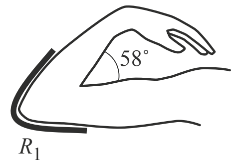
stretchsensor gebogen arm — stretchsensor gestrekte arm

De computer die met het pak verbonden is, meet de elektrische spanning over het rekbare materiaal. Op de uitwerkbijlage staat in een ijkgrafiek het verband weergegeven tussen de spanning over en de weerstand van dat rekbare materiaal. In een tweede grafiek is het verband weergegeven tussen de weerstand van het rekbare materiaal en de hoek die de arm dan maakt.

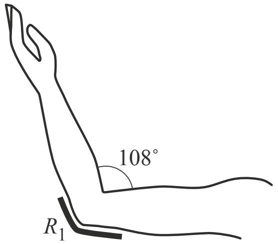
Bij een bepaalde stand van de arm van de acteur meet de computer een spanning van 2,7 V.

1p **12** In welke figuur is de stand van de arm dan het beste weergegeven?

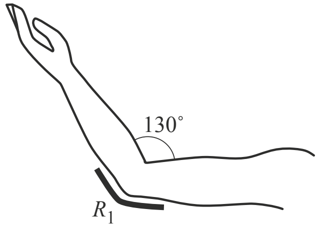
A



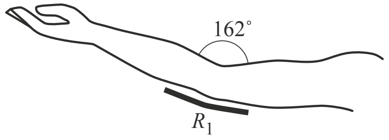
B



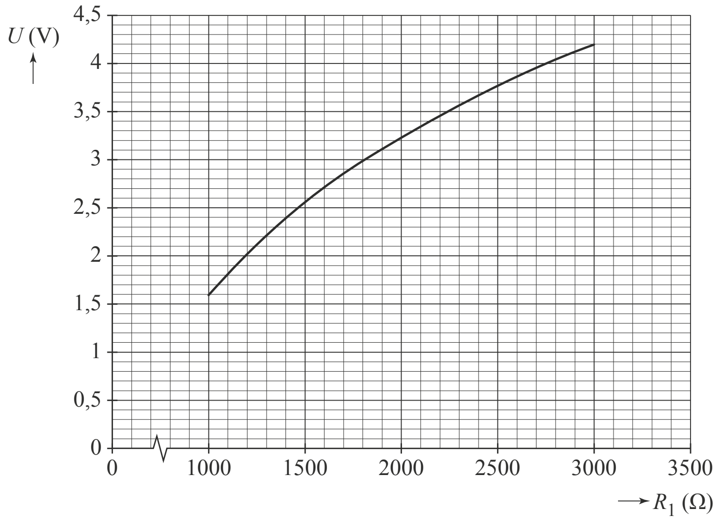
C

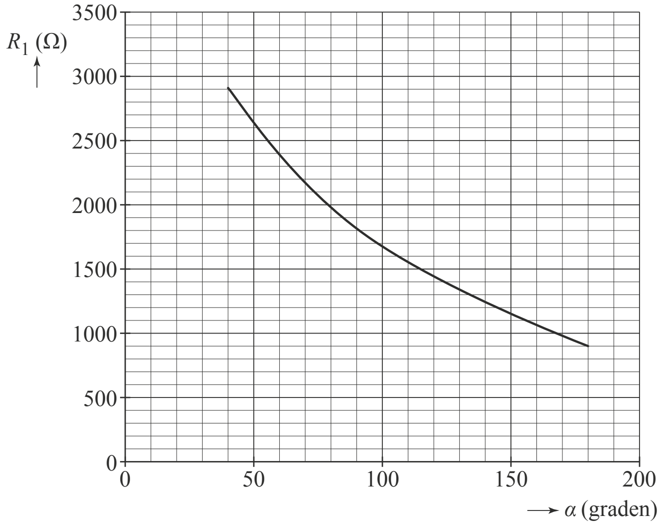


D



uitwerkbijlage bij vraag 12



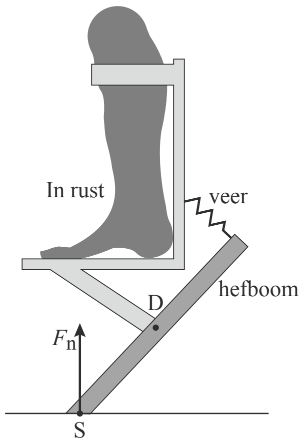


Powerskips

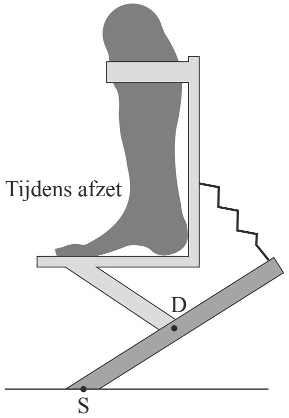
Powerskips zijn een soort schoenen waarmee het mogelijk is om hoge sprongen te maken. Zie figuur 1.
Een Powerskip bevat een hefboom en een veer en wordt aan het onderbeen vastgemaakt.
In figuur 2 is een Powerskip in rust vereenvoudigd en op schaal weergegeven.
De hefboom draait om punt D en staat met punt S op de grond.
Vóór het maken van een sprong wordt de veer eerst verder uitgerekt. Zie figuur 3. Tijdens de afzet voor de sprong levert de veer dan extra kracht.

figuur 1

figuur 2



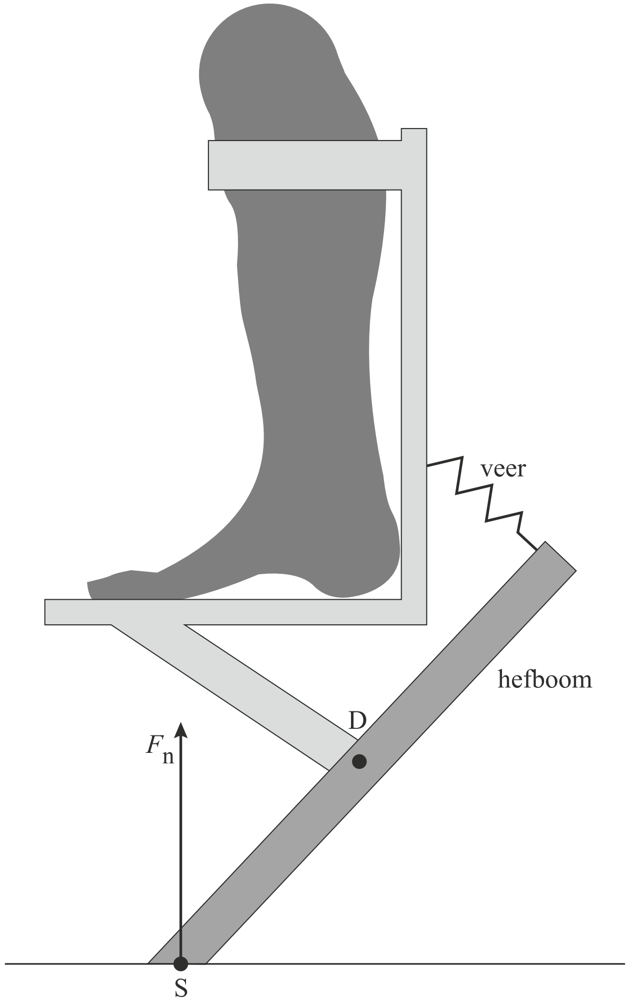
figuur 3



Een atlete staat stil op twee Powerskips. Zij heeft, met de Powerskips aan, een totale massa van 65 kg. Op de uitwerkbijlage staat figuur 2 vergroot en op schaal weergegeven.

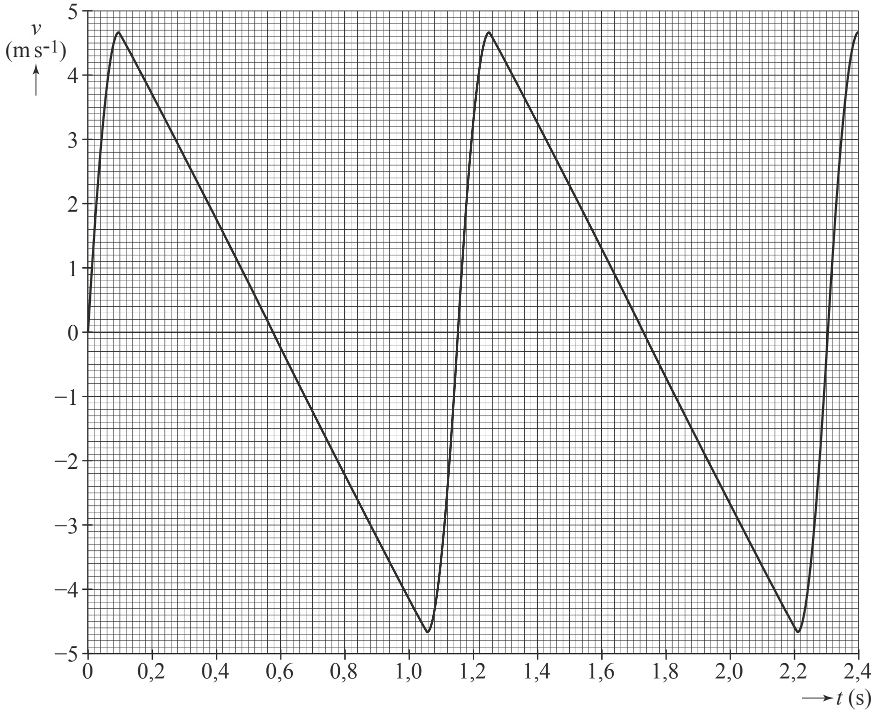
5p **13** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de kracht van de veer op de hefboom in één van de Powerskips in rust.

uitwerkbijlage bij vraag 13



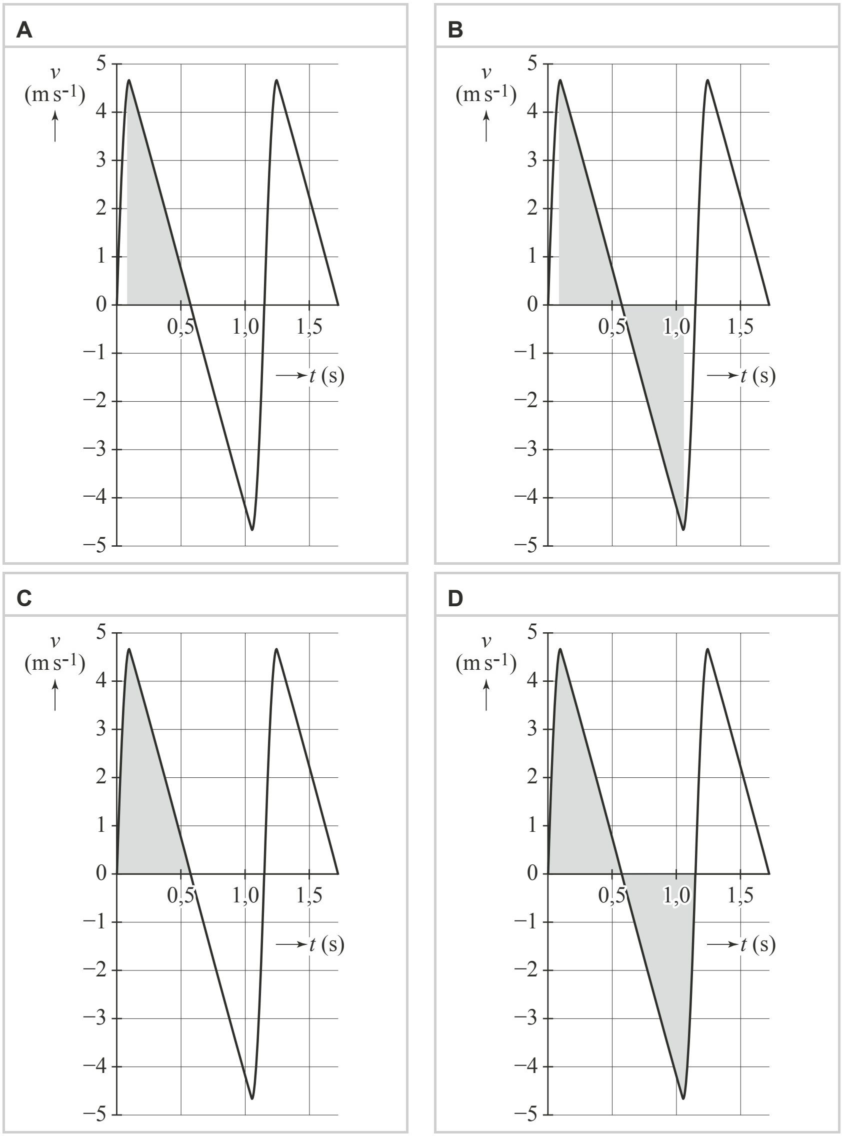
In figuur 4 is een (v,t)-diagram gegeven van een aantal sprongen van de atlete op Powerskips.

figuur 4



Met figuur 4 is de afstand tussen het loskomen van de grond en de maximale hoogte boven de grond te bepalen.

1p **14** In welk (v,t)-diagram is de genoemde afstand juist gearceerd weergegeven?



Tijdens het landen remmen de Powerskips de atlete af. Op t = 1,15 s is de resulterende kracht op de atlete (m = 65 kg) het grootst.

3p **15** Bepaal deze resulterende kracht met behulp van figuur 4.

De twee veren in de Powerskips worden samen het veersysteem genoemd. Tijdens het landen wordt energie in dit veersysteem opgeslagen. Voor deze (veer)energie in dit veersysteem geldt:

$$E_{veer} = \frac{1}{2} Cu^2$$

Hierin is:
- C de veerconstante in N m^{-1} en
- u de uitrekking van het veersysteem in m.

2p **16** Toon aan dat de eenheden links en rechts van het '='-teken aan elkaar gelijk zijn.

Bij het landen wordt kinetische energie omgezet in veerenergie. Het verschil in zwaarte-energie tijdens het indrukken van de Powerskips mag verwaarloosd worden. Het veersysteem in de Powerskips heeft een veerconstante van $1{,}0 \cdot 10^5$ N m^{-1}.

3p **17** Bepaal de maximale uitrekking van het veersysteem in de Powerskips tijdens een sprong met behulp van de wet van behoud van energie en figuur 4.

Een set Powerskips kan volgens de fabrikant maximaal $1{,}8 \cdot 10^3$ J aan energie in het veersysteem opslaan. In figuur 5 is de rechterman (m = 75 kg) gefotografeerd op het hoogste punt van zijn sprong.

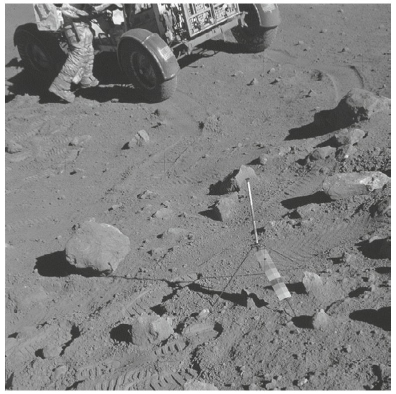
3p **18** Laat met behulp van een schatting zien of voor deze sprong een veerenergie van $1{,}8 \cdot 10^3$ J nodig was.

figuur 5

Dateren met Rb en Sr

Tijdens de maanmissies in de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw zijn stenen van de maan meegenomen naar de aarde.
Zie figuur 1.
Deze stenen zijn tijdens de vorming van de maan ontstaan door het stollen van magma.
Tijdens het stollen zijn diverse soorten isotopen ingesloten in de steen, waaronder de instabiele isotoop Rb-87.
Rb-87 vervalt tot het stabiele Sr-87. Bij deze vervalreactie wordt een deeltje uitgezonden.

figuur 1



1p **19** Welk deeltje komt bij de vervalreactie vrij?
A elektron
B neutron
C proton
D α-deeltje

Dankzij deze vervalreactie is het voor een onderzoeker mogelijk om de leeftijd van één van deze stenen te bepalen.
Hiervoor moet eerst de halveringstijd van Rb-87 bekend zijn.
De halveringstijd van Rb-87 is groter dan de ouderdom van de aarde zodat de activiteit van Rb-87 tijdens een mensenleven bijna constant is.
Om toch de halveringstijd van Rb-87 te kunnen bepalen, wordt gebruikgemaakt van de formule:

$$A = \frac{0{,}693\, N}{t_{\frac{1}{2}}}$$

Hierin is:
- A de activiteit in Bq,
- N het aantal instabiele kernen en
- $t_{\frac{1}{2}}$ de halveringstijd in s.

De onderzoeker bepaalt van 1,0 mg Rb-87 de activiteit. Deze is 3,09 Bq. De onderzoeker vindt vervolgens een halveringstijd van $4{,}9 \cdot 10^{10}$ jaar.

4p **20** Toon dat aan met een berekening.

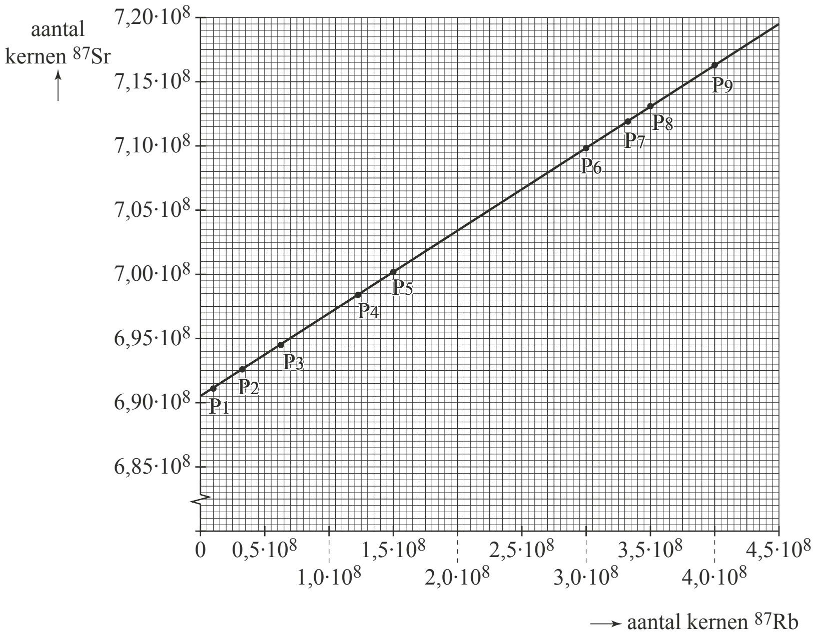
Voor de leeftijdsbepaling zaagt de onderzoeker de steen in negen even grote stukken.

Van ieder stuk steen wordt het volgende bepaald:
het aantal instabiele Rb-87 kernen;
het aantal stabiele Sr-87 kernen (het vervalproduct van Rb-87).

Ondanks dat de stukken steen hetzelfde volume hebben, blijkt het aantal Rb-87 en Sr-87 kernen niet in ieder stuk hetzelfde te zijn. De verdeling van de kernen door de steen was dus niet overal gelijk.

Voor ieder stuk steen P_1 tot en met P_9 is in een diagram het aantal kernen Sr-87 uitgezet tegen het aantal kernen Rb-87. Zie figuur 2.

figuur 2



Met behulp van de steilheid van de lijn in figuur 2 kan de onderzoeker de leeftijd t van de hele steen bepalen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de formule:

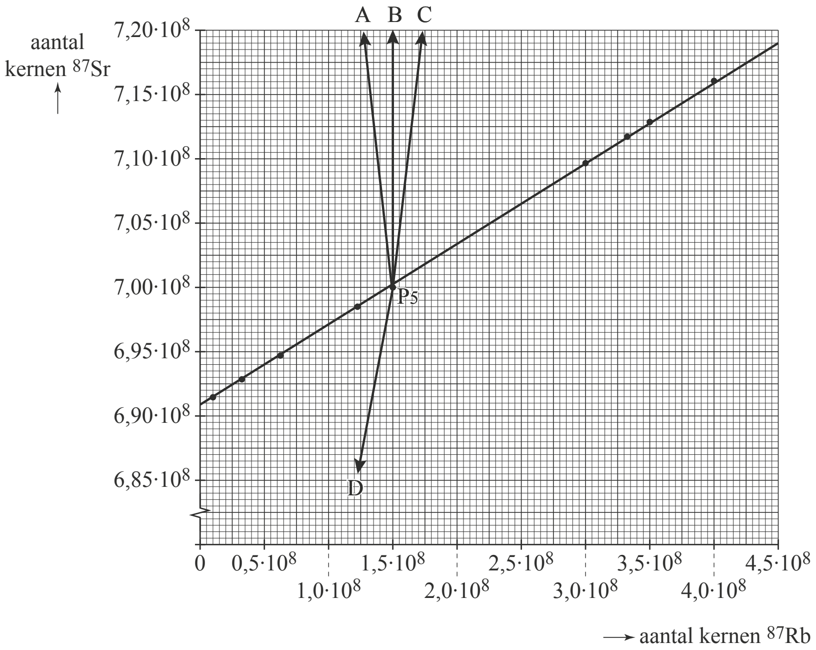
$$\text{steilheid} = \frac{0{,}693 \cdot t}{t_{\frac{1}{2}}}.$$

De halveringstijd is $4{,}9 \cdot 10^{10}$ jaar.

3p **21** Bepaal de leeftijd van de steen.

Naarmate de steen ouder wordt, vervallen er meer kernen. De plaats van meetpunt P_5 schuift daardoor op in het diagram. In figuur 3 staan vier mogelijke verplaatsingen van meetpunt P_5 in het diagram.

figuur 3



1p **22** Welke pijl geeft de juiste verplaatsing aan van punt P_5 tijdens het verouderen van de steen?

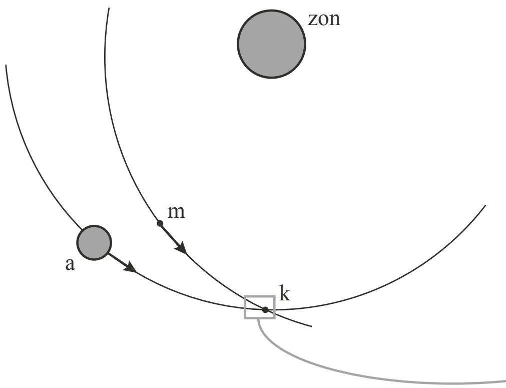
Meteoriet van Tsjeljabinsk

Op 15 februari 2013 vroeg in de ochtend sloeg een klein deel van een meteoriet in bij het Russische plaatsje Tsjeljabinsk. Onderzoekers onderzochten hoe de vlucht van de meteoriet was verlopen. Ze bekeken daarbij de banen van de meteoriet en de aarde, vlak voor deze botsten.

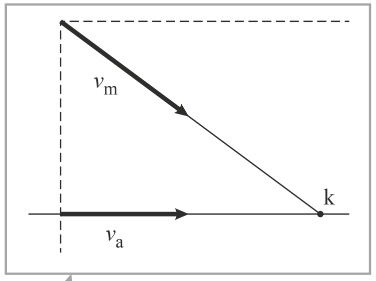
3p **23** Bereken de grootte van de baansnelheid van de aarde om de zon in 2 significante cijfers.

Figuur 1 geeft schematisch de banen van de meteoriet m en de aarde a om de zon weer. Figuur 1 is niet op schaal.

figuur 1



figuur 2

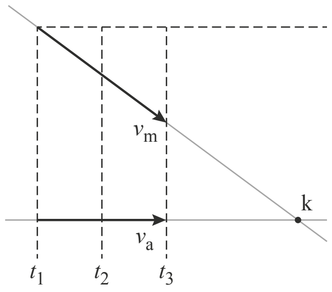


Vlak voor de botsing in punt k zijn deze banen te benaderen als rechte lijnen. Zie figuur 2. De vectoren in figuur 2 zijn op schaal en geven de richting en grootte van de baansnelheid van de meteoriet v_m en de baansnelheid v_a van de aarde.

Snelheidsvectoren zijn op dezelfde manier te ontbinden als krachtvectoren. De snelheidsvector van de meteoriet v_m is te ontbinden in twee richtingen: één parallel aan de baan van de aarde en één loodrecht op de baan van de aarde. Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage. Hierin is met lijnen aangegeven waar de aarde en de meteoriet zich op bepaalde tijdstippen ten opzichte van elkaar bevonden.
Vroeg in de ochtend leek het vanaf de aarde gezien alsof de meteoriet vanuit de richting van de zon naar de aarde bewoog.

2p **24** Leg uit dat de meteoriet vanuit de richting van de zon leek te komen.
Ontbind hiertoe eerst snelheidsvector v_m.

uitwerkbijlage bij vraag 24



Op 150 km boven het aardoppervlak ondervond de meteoriet luchtweerstand door de dampkring. Door de wrijving werd de meteoriet heet en een deel van de meteoriet ging direct over in de gasfase.

1p **25** Hoe heet deze faseovergang?

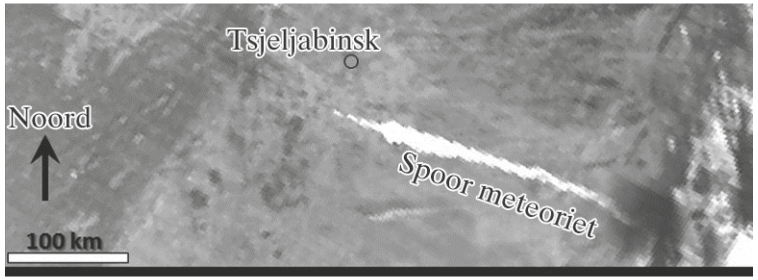
A condenseren
B smelten
C stollen
D sublimeren
E verdampen

Door de hitte van de meteoriet werd er in 13 s een zichtbaar spoor langs de hemel getrokken. In figuur 3 zie je een foto van dit spoor gezien vanaf de aarde. De snelheid van de meteoriet wordt constant beschouwd.

figuur 3

Hetzelfde spoor is ook gefotografeerd door een satelliet vanuit de ruimte. Zie figuur 4.

figuur 4



Met figuur 4 is te bepalen dat de snelheid van de meteoriet ten opzichte van de aarde gelijk was aan $20 \cdot 10^3$ m s^{-1}.

3p **26** Toon deze snelheid aan met een bepaling.

De meteoriet explodeerde in de lucht. Bij de explosie werd de kinetische energie van de meteoriet omgezet.
De energie die bij grote explosies vrijkomt, wordt vergeleken met de energie die vrijkomt bij de explosie van een kiloton van de explosieve stof TNT. Een kiloton TNT levert een energie van $4{,}2 \cdot 10^{12}$ J. De massa van de meteoriet vlak voor de explosie werd geschat op $9 \cdot 10^{3}$ ton.

4p **27** Bereken hoeveel energie vrijkwam bij de explosie van de meteoriet, uitgedrukt in kiloton TNT.

Een klein deel van de meteoriet kwam uiteindelijk neer op de aarde. Dit stuk was bij benadering kubusvormig. Zie figuur 5.

figuur 5

Dit stuk had een massa van $6 \cdot 10^{2}$ kg. Sommige meteorieten bestaan (voornamelijk) uit ijzer en worden daarom ijzermeteorieten genoemd.

4p **28** Leg met een berekening uit of de meteoriet van Tsjeljabinsk een ijzermeteoriet is. Maak eerst een beredeneerde schatting van het volume van dit stuk meteoriet.

Hints bij examen 2017-II

1 – In welke richting trillen de luchtdeeltjes vergeleken met de voortplantingsrichting?
– Waar is de geluidssnelheid van afhankelijk?
– Kan bij elke willekeurige golflengte een eigentrilling in de buis optreden?

2 Bevindt er zich een buik of een knoop bij een open uiteinde?

3 Wat is het verband tussen v , f en λ?

4 Zie Binas 35B1.

5 – Hoe hangt de geluidssnelheid af van de temperatuur van de lucht?
– Zie Binas 35B2.

6 Bij recht evenredigheid tussen spanning en rek is er sprake van elastische vervorming.

7 Wat is het verband tussen E, σ en ε?

8 Zie Binas 35A6.

9 Verandert de stroomsterkte in de kring als weerstand R_1 groter wordt?

10 Het maximale vermogen wordt geleverd wanneer de stroomsterkte maximaal is.

11 Bereken de stroomsterkte.

12 Hoe groot is R_1 bij een gemeten spanning van 2,7 V?

13 Hoe luidt de hefboomwet?

14 Heeft de atlete bij het loskomen van de grond al een snelheid?

15 Bepaal de helling van de raaklijn in figuur 4 op t = 1,15 s.

16 Zie Binas 4.

17 Hoe luidt de formule voor de kinetisch energie?

18 Maak een schatting van de spronghoogte in figuur 5.

19 Zie Binas 25.

20 Reken eerst de massa van 1 atoom Rb-87 om in kg.

21 Bepaal de steilheid van de lijn in figuur 2.

22 Welke isotoop vervalt en welke isotoop wordt gevormd?

23 Zie voor de baansnelheid: Binas 35A2.

24 Vergelijk de snelheidscomponent van de meteoriet parallel aan de baan van de aarde met de baansnelheid van de aarde.

25 Er is sprake van een overgang van vaste fase naar gasfase.

26 Bepaal de schaalfactor van figuur 4.

27 Zie voor het omrekenen van de eenheid ton: Binas 5.

28 Maak eerst een schatting van de dichtheid van dit stuk meteoriet.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2017-II

Panfluit

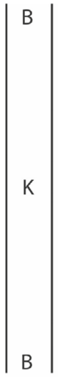
2p **1** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

In de buis bevinden zich **transversale / longitudinale** geluidsgolven met verschillende **snelheden / frequenties**.

Er treedt resonantie op zodra de **amplitude / golflengte** van een golf in verhouding is met de lengte van de luchtkolom in de buis.

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
- *De voortplantingsrichting van de golf is evenwijdig aan de uitwijking van de trillende luchtdeeltjes.*
- *De geluidssnelheid is afhankelijk van temperatuur en dichtheid van de lucht, dus voor alle geluidsgolven in de buis hetzelfde.*
- *Er treedt resonantie of een eigentrilling op zodra een geheel aantal malen de halve golflengte past op de lengte van de buis.*

2p **2** Zie de tekening.
De buis is aan beide uiteinden open ⇒ aan beide open uiteinden vormt zich een buik (B). [1p]
De grondtoon is de laagst mogelijke toon in deze buis ⇒ bij deze toon hoort de grootst mogelijke golflengte die in de buis past ⇒ er bevindt zich één knoop in het midden van de buis (K). [1p]



4p **3** We berekenen de frequentie van de grondtoon f_0 die de buis dan laat horen

met: $v = f_0 \cdot \lambda_0$ [1p] $\Rightarrow f_0 = \dfrac{v}{\lambda_0}$ (Binas 35B2), waarin:

v = geluidssnelheid bij 20 °C (= 293 K) in lucht = $0{,}343 \cdot 10^3$ m s^{-1} (Binas 15A)

λ_0 = golflengte van de grondtoon

Er geldt: $\frac{1}{4} \cdot \lambda_0 = \ell + 0{,}31 \cdot d$ [1p], met:

ℓ = lengte van de buis = 18,8 cm – 1,0 cm [1p] = 17,8 cm = $17{,}8 \cdot 10^{-2}$ m

d = diameter van de luchtkolom in de buis = 1,8 cm = $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ m

zodat: $\frac{1}{4} \cdot \lambda_0 = 17{,}8 \cdot 10^{-2} + 0{,}31 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \frac{1}{4} \cdot \lambda_0 = 0{,}1836 \Rightarrow \lambda_0 = 0{,}734$m

Invullen: $f_0 = \dfrac{0{,}343 \cdot 10^3}{0{,}734} = 4{,}7 \cdot 10^2$ Hz [1p]

2p **4** We bepalen de frequentie f van de grondtoon met: $f = \dfrac{1}{T}$ (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de golf
$10 \cdot T = 0{,}020$ s (afgelezen in figuur 4)

zodat: $T = \dfrac{0{,}020}{10} = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ s [1p]

Invullen: $f = \dfrac{1}{2{,}0 \cdot 10^{-3}} = 5{,}0 \cdot 10^2$ Hz [1p]

Ook kan: $f = \dfrac{\text{aantal trillingen}}{\text{benodigde tijd}} = \dfrac{10}{0{,}020} = 5{,}0 \cdot 10^2$ Hz

4p **5** – Bij toename van de temperatuur van de lucht wordt de geluidssnelheid groter [1p] (zie Binas 15A). De golflengte blijft gelijk (de lengte van de buis verandert niet).
Er geldt: $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2) ⇒ de frequentie f zal groter worden. [1p]
Een hogere luchttemperatuur kan dus een oorzaak zijn van de te hoge frequentie van de grondtoon.
– Er geldt: $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2). Om de frequentie van de grondtoon te verkleinen bij gelijkblijvende geluidssnelheid, zal de golflengte λ moeten toenemen. [1p] De lengte van de buis zal dus vergroot moeten worden ⇒ de kurk moet minder diep in de buis steken. [1p]

Stretchsensor

2p **6** Zie de ingevulde tabel.

gebied	elastische vervorming	plastische vervorming	geen vervorming
I	X		
II		X	
III		X	

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
- *In gebied I is de spanning recht evenredig met de relatieve rek ⇒ ⇒ elastische vervorming.*
- *In de gebieden II en III is geen sprake van recht evenredigheid, maar de relatieve rek neemt wel toe ⇒ plastische vervorming*

3p **7** De elasticiteitsmodulus E van het materiaal is de helling van de grafiek in gebied I.

Er geldt: $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$ [1p] (Binas 35A6), waarin:

σ = maximale spanning waarbij nog elastische vervorming optreedt = 6,4 kN m^{-2} [1p] = = $6{,}4 \cdot 10^3$ N m^{-2} (afgelezen in figuur 1)

ε = relatieve rek, behorende bij de maximale spanning = 0,40

Invullen: $E = \dfrac{6{,}4 \cdot 10^3}{0{,}40} = 1{,}6 \cdot 10^4$ N m^{-2} [1p]

3p **8** We bepalen de kracht F waarmee aan het materiaal wordt getrokken met:

$\sigma = \dfrac{F}{A}$ [1p] (Binas 35A6) ⇒ $F = \sigma \cdot A$, waarin:

σ = spanning bij een relatieve rek van 0,20
Aflezen in figuur 1: $\sigma = 3{,}2$ kN m^{-2} = $3{,}2 \cdot 10^3$ N m^{-2} [1p]

A = doorsnede van het rekbare materiaal = 1,8 mm^2 = $1{,}8 \cdot 10^{-6}$ m^2

Invullen: $F = 3{,}2 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-6} = 5{,}8 \cdot 10^{-3}$ N [1p]

2p **9** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

De spanning over ab **neemt toe / neemt af / blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

De spanning over bc **neemt toe / neemt af / blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

De spanning over ac **neemt toe / neemt af / blijft gelijk** als R_1 uitrekt.

Bij uitrekking wordt weerstand R_1 groter ⇒ de vervangingsweerstand van de serieschakeling wordt groter ⇒ de stroomsterkte I wordt kleiner ⇒ de spanning over bc (= spanning over de constante weerstand R_2) wordt kleiner ⇒ spanning over ab (= spanning over R_1) neemt toe. [1p] *De totale spanning over ac blijft 12 V.* [1p]

4p **10** Het maximale vermogen P_{max} berekenen we met: $P_{max} = U \cdot I_{max}$ [1p] (Binas 35D1), waarin:

U = spanning over de serieschakeling = 12 V
I_{max} = maximale stroomsterkte in de serieschakeling

Volgens de wet van Ohm geldt: $U = I \cdot R_{tot}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I = \frac{U}{R_{tot}}$, met:

R_{tot} = vervangingsweerstand = $R_1 + R_2$ [1p] (Binas 35D1)
De stroomsterkte is maximaal als R_{tot} minimaal is,

zodat: $I_{max} = \frac{U}{R_{tot,min}}$ [1p] $= \frac{U}{R_{1,min} + R_2} = \frac{12}{1{,}0 \cdot 10^3 + 5{,}6 \cdot 10^3} = 1{,}82 \cdot 10^{-3}$ A

Invullen: $P_{max} = 12 \cdot 1{,}82 \cdot 10^{-3} = 2{,}2 \cdot 10^{-2}$ W [1p]

3p **11** We berekenen de tijdsduur die het pak op deze accu kan werken met:

$t = \frac{capaciteit}{I}$ [1p], waarin:

capaciteit = 2,0 A h
I = stroomsterkte in het pak

Er geldt: $P = U \cdot I$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow$ $I = \frac{P}{U}$, met:

P = vermogen = 19 W
U = spanning = 12 V

zodat: $I = \frac{19}{12} = 1{,}58$ A

Invullen: $t = \frac{2{,}0}{1{,}58} = 1{,}3$ h [1p]

1p **12** Antwoord B is juist.
In de ijkgrafiek lezen we af: spanning van 2,7 V $\Rightarrow$ $R_1 = 1600\ \Omega$
In de tweede grafiek lezen we af: R_1 *van 1600 Ω* $\Rightarrow$ $\alpha = 105°$
In figuur B is dus de stand van de arm het beste weergegeven.

©ThiemeMeulenhoff

Powerskips

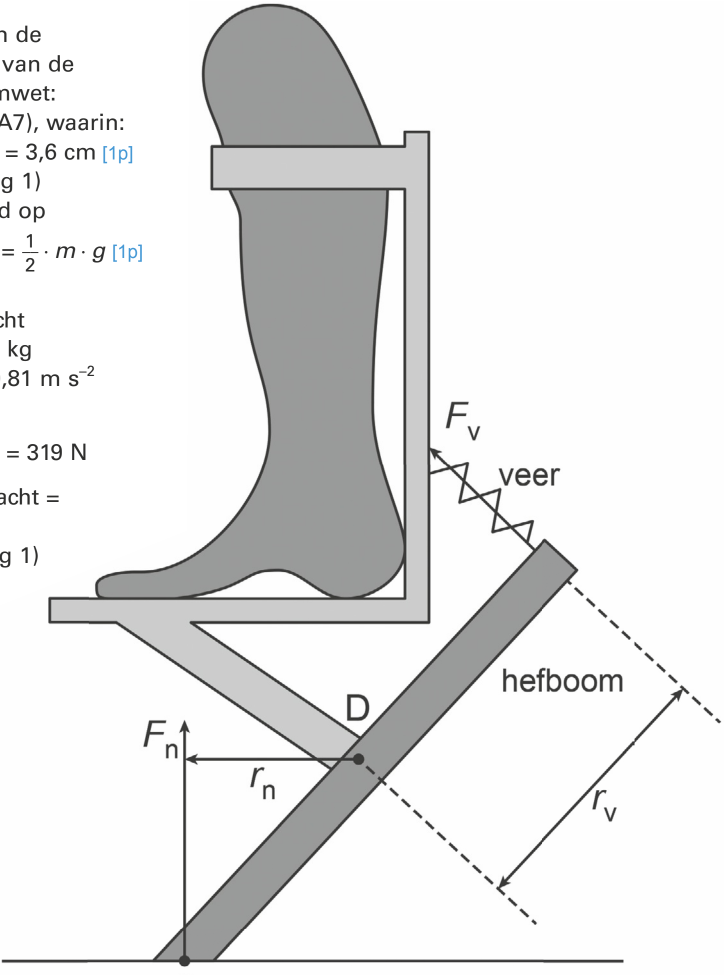
5p **13** Zie tekening 1.
We bepalen de kracht F_v van de veer op de hefboom in één van de Powerskips met de hefboomwet:
$F_v \cdot r_v = F_n \cdot r_n$ [1p] (Binas 35A7), waarin:
r_v = arm van de veerkracht = 3,6 cm [1p] (opgemeten in tekening 1)
F_n = normaalkracht werkend op één Powerskip $= \frac{1}{2} \cdot F_z = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g$ [1p] (Binas 35A3), met:
F_z = totale zwaartekracht
m = totale massa = 65 kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)

zodat: $F_n = \frac{1}{2} \cdot 65 \cdot 9{,}81 = 319$ N

r_n = arm van de normaalkracht = = 2,3 cm [1p] (opgemeten in tekening 1)

Invullen:
$F_v \cdot 3{,}6 = 319 \cdot 2{,}3$ $\Rightarrow$

$F_v = \frac{319 \cdot 2{,}3}{3{,}6} = 2{,}0 \cdot 10^2$ N [1p]

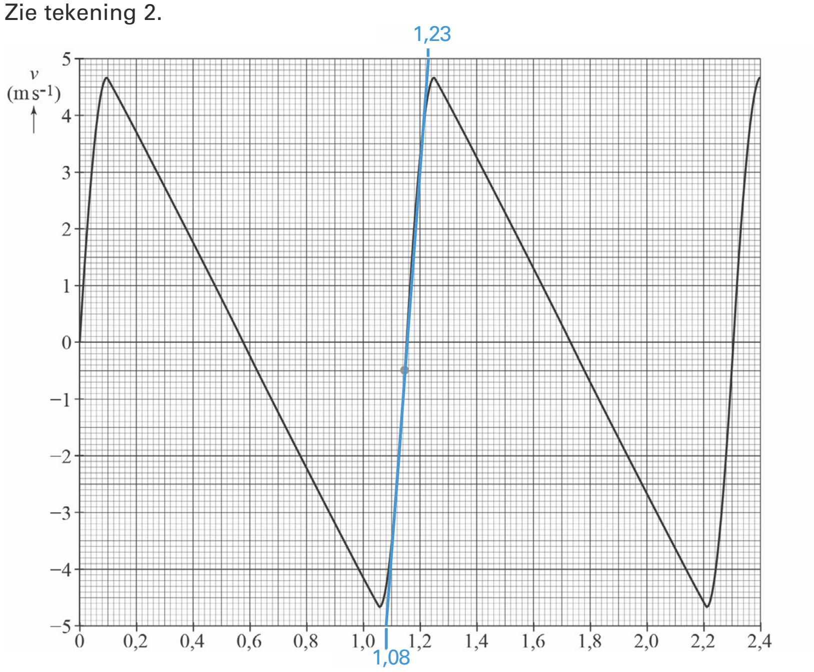


tekening 1

1p **14** Diagram A is juist.
Vóór het loskomen van de grond hebben de veren van de Powerskips al veerenergie overgedragen aan de atlete in de vorm van kinetische energie. Bij het loskomen van de grond heeft de atlete dus al snelheid $\Rightarrow$ *alleen diagram A of B is mogelijk als antwoord. Bij het bereiken van het hoogste punt van de sprong is de snelheid nul* $\Rightarrow$ *diagram A.*

©ThiemeMeulenhoff

3p **15** Zie tekening 2.



tekening 2

De resulterende kracht F_{res} bepalen we met: $F_{res} = m \cdot a$ [1p] (Binas 35A3), waarin:
m = totale massa van de atlete = 65 kg
a = versnelling van de atlete op $t = 1{,}15$ s

$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ (Binas 35A1), met Δv = snelheidsverandering en Δt = tijdsduur $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ dit is de helling van de raaklijn aan de grafiek. Teken deze raaklijn in figuur 4,

zodat: $a = \dfrac{10}{1{,}23 - 1{,}08} = 66{,}7\ \text{m s}^{-2}$ [1p] (afgelezen in tekening 2)

Invullen: $F_{res} = 65 \cdot 66{,}7 = 4{,}3 \cdot 10^3$ N [1p]

2p **16** Voor de eenheid van deze (veer)energie geldt: $[E]$ = J = N m [1p] (Binas 4)
Rechts van het '=' teken geldt: $[\frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2] = [C] \cdot [u^2] = \text{N m}^{-1} \cdot \text{m}^2 = \text{N m}$ [1p]
De eenheden in de formule van het veersysteem zijn dus links en rechts aan elkaar gelijk.

3p **17** De maximale uitrekking u_{max} vinden we met behulp van de wet van behoud van energie: E_{veer} [1p] $= E_{kin} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_{max}^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}^2$ (Binas 35A4), waarin:

C = veerconstante = $1{,}0 \cdot 10^5\ \text{N m}^{-1}$
m = massa = 65 kg
v_{max} = maximale snelheid van de atlete = $4{,}65\ \text{m s}^{-1}$ [1p] (afgelezen in figuur 4)

Invullen: $\frac{1}{2} \cdot 1{,}0 \cdot 10^5 \cdot u_{max}^2 = \frac{1}{2} \cdot 65 \cdot 4{,}65^2 \Rightarrow u_{max}^2 = \dfrac{65 \cdot 4{,}65^2}{1{,}0 \cdot 10^5} = 0{,}014 \Rightarrow$

$\Rightarrow u_{max} = \sqrt{0{,}014} = 0{,}12$ m [1p]

Ook mag: $E_{veer} = E_z \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_{max}^2 = m \cdot g \cdot h_{max}$ (Binas 35A4). Hierin is g de valversnelling en h_{max} de maximale hoogte die bereikt wordt tijdens een sprong.
De maximale hoogte van de sprong kan bepaald worden door de oppervlakte onder de grafiek te bepalen. Zie diagram A bij vraag 14.

Er geldt: $h_{max} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}48 \cdot 4{,}7 = 1{,}1$ m.

3p **18** *methode 1*
Met behulp van de wet van behoud van energie maken we een schatting van de totale energie van de gefotografeerde sprong van de rechter man:
$E_{veer} = E_z = m \cdot g \cdot \Delta h_{foto}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:
E_{veer} = veerenergie
E_z = zwaarte-energie
m = massa van de man = 75 kg
g = valversnelling = $9{,}81\ \text{m s}^{-2}$ (Binas 7A)
Δh_{foto} = sprongafstand van de rechter man
Uit de foto maken we een schatting: $\Delta h_{foto} = 1{,}5$ m [1p]
Invullen: $E_{veer} = 75 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}5 = 1{,}1 \cdot 10^3$ J
Dit is minder dan de $1{,}8 \cdot 10^3$ J die in het veersysteem kan worden opgeslagen. [1p]
methode 2
We berekenen de maximale spronghoogte h_{max} wanneer de maximale energie in het veersysteem is opgeslagen: $E_{veer,max} = E_{z,max} = m \cdot g \cdot h_{max}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:
$E_{veer,max}$ = maximale energie voor het veersysteem = $1{,}8 \cdot 10^3$ J
$E_{z,max}$ = maximale zwaarte-energie
m = massa van de man = 75 kg
g = valversnelling = $9{,}81\ \text{m s}^{-2}$ (Binas 7A)

Invullen: $1{,}8 \cdot 10^3 = 75 \cdot 9{,}81 \cdot h_{max} \Rightarrow h_{max} = \dfrac{1{,}8 \cdot 10^3}{75 \cdot 9{,}81} = 2{,}4$ m [1p]

De man op de foto bereikt deze hoogte niet.
Er is dus minder dan $1{,}8 \cdot 10^3$ J in het veersysteem opgeslagen. [1p]

Dateren met Rb en Sr

1p **19** Antwoord A is juist.
Zie Binas tabel 25: Rb-87 heeft een β^--verval, dus er komt bij het verval een elektron vrij.

4p **20** De halveringstijd $t_{\frac{1}{2}}$ van Rb-87 berekenen we met:

$A = \dfrac{0{,}693 \cdot N}{t_{\frac{1}{2}}}$ [1p] $\Rightarrow t_{\frac{1}{2}} = \dfrac{0{,}693 \cdot N}{A}$, waarin:

A = activiteit = 3,09 Bq

N = aantal instabiele kernen in 1,0 mg Rb-87 = $\dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{kg}}{\text{atoommassa van Rb-87}}$

De atoommassa van Rb-87 = 86,91 · u [1p] (Binas 25) =
= $86{,}91 \cdot 1{,}661 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B) = $1{,}444 \cdot 10^{-25}$ kg [1p]

zodat: $N = \dfrac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}444 \cdot 10^{-25}} = 6{,}93 \cdot 10^{18}$

Invullen: $t_{\frac{1}{2}} = \dfrac{0{,}693 \cdot 6{,}93 \cdot 10^{18}}{3{,}09} = 1{,}55 \cdot 10^{18}\ \text{s} = \dfrac{1{,}55 \cdot 10^{18}}{365 \cdot 24 \cdot 3600}\ \text{y} = 4{,}9 \cdot 10^{10}$ y [1p]

3p **21** De leeftijd t van de steen volgt uit: $steilheid = \frac{0{,}693 \cdot t}{t_{\frac{1}{2}}}$ [1p], waarin:

$steilheid = \frac{7{,}195 \cdot 10^8 - 6{,}905 \cdot 10^8}{4{,}5 \cdot 10^8} = 0{,}0647$ [1p] (afgelezen in figuur 2)

$t_{\frac{1}{2}}$ = halveringstijd $= 4{,}9 \cdot 10^{10}$ y

Invullen: $0{,}0647 = \frac{0{,}693 \cdot t}{4{,}9 \cdot 10^{10}} \Rightarrow t = \frac{0{,}0647 \cdot 4{,}9 \cdot 10^{10}}{0{,}693} = 4{,}6 \cdot 10^9$ y [1p]

1p **22** Pijl A is juist.
Naarmate de steen ouder wordt, zal door verval het aantal instabiele kernen Rb-87 afnemen en het aantal stabiele kernen Sr-87 toenemen ⇒ meetpunt P_5 zal tijdens het verouderen van de steen in de richting van pijl A opschuiven.

Meteoriet van Tsjeljabinsk

3p **23** Voor de grootte van de baansnelheid v_a van de aarde om de zon geldt:

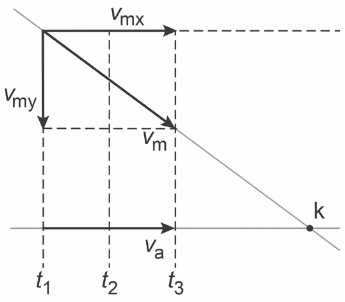
$v_a = \frac{2\pi \cdot r_{baan}}{T}$ [1p] (Binas 35A2), waarin:

r_{baan} = straal van de baan om de zon $= 0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m [1p] (Binas 31)

T = tijdsduur van de omloop $= 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 3{,}154 \cdot 10^7$ s

Invullen: $v_a = \frac{2\pi \cdot 0{,}1496 \cdot 10^{12}}{3{,}154 \cdot 10^7} = 3{,}0 \cdot 10^4$ m s^{-1} [1p]

2p **24** Zie de tekening (de ingevulde uitwerkbijlage).
We ontbinden de snelheidsvector v_m van de meteoriet in de component v_{mx} evenwijdig aan de baan van de aarde en de component v_{my} loodrecht op de baan van de aarde. [1p] In de tekening is te zien dat v_a en v_{mx} ongeveer even groot zijn ⇒ evenwijdig aan de baan van de aarde had de meteoriet vrijwel géén verplaatsing ten opzichte van de aarde.
Vanaf de aarde leek de meteoriet dus alleen een beweging te maken loodrecht op de baan van de aarde ⇒ een beweging komende uit de richting van de zon. [1p]



1p **25** Antwoord D is juist.

3p **26** De snelheid van de meteoriet $v_{m,a}$ ten opzichte van de aarde bij het binnendringen van de dampkring bepalen we met: $v_{m,a} = \frac{s}{t}$ [1p] (Binas 35A1), waarin:

s = afgelegde weg
In figuur 4 meten we de lengte van het spoor van de meteoriet = 4,1 cm [1p]
Bepaling van de schaalfactor in figuur 4 geeft: 1,6 cm komt overeen met 100 km
zodat: $s = \frac{4{,}1}{1{,}6} \cdot 100 \text{ km} = 2{,}56 \cdot 100 \text{ km} = 2{,}56 \cdot 10^5$ m

t = 13 s

Invullen: $v_{m,a} = \frac{2{,}56 \cdot 10^5}{13} = 20 \cdot 10^3$ m s^{-1} [1p]

4p **27** De meteoriet had een kinetische energie E_k ter grootte van:

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

m = massa van de meteoriet $= 9 \cdot 10^3$ ton $= 9 \cdot 10^3 \cdot 10^3$ kg [1p] $= 9 \cdot 10^6$ kg (Binas 5)
v = snelheid van de meteoriet ten opzichte van de aarde $= 20 \cdot 10^3$ m s^{-1}

Invullen: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^6 \cdot (20 \cdot 10^3)^2 = 1{,}8 \cdot 10^{15}$ J [1p] $= \frac{1{,}8 \cdot 10^{15}}{4{,}2 \cdot 10^{12}}$ kiloton TNT =
$= 4 \cdot 10^2$ kiloton TNT [1p]

4p **28** Om een uitspraak te kunnen doen of de meteoriet voornamelijk uit ijzer bestaat, moeten we de dichtheid ρ van het stuk meteoriet berekenen.

Er geldt: $\rho = \frac{m}{V}$ [1p] (Binas 35C1), waarin:

m = massa van het stuk meteoriet $= 6 \cdot 10^2$ kg
V = volume van het stuk meteoriet $= \ell \cdot b \cdot h$, met:
$\ell = b = h$ = zijde van de kubus = 4 cm op de foto
Voor de schaalfactor schatten we dat 11 cm, de hoogte van een persoon op de foto, overeenkomt met 1,8 m ⇒ 1 cm komt overeen met $\frac{1{,}8}{11} = 0{,}16$ m
zodat: $\ell = b = h = 4 \cdot 0{,}16 = 0{,}64$ m
We komen dan op een schatting voor het volume: $V = 0{,}64 \cdot 0{,}64 \cdot 0{,}64 = 0{,}26$ m^3 [1p]

Invullen: $\rho = \frac{6 \cdot 10^2}{0{,}26} = 2{,}3 \cdot 10^3$ kg m^{-3}

Dit komt niet overeen met de dichtheid van ijzer ($7{,}87 \cdot 10^3$ kg m^{-3} [1p], Binas 8).
De meteoriet is dus geen ijzermeteoriet. [1p]

Examen 2018-I

Scheepsradar

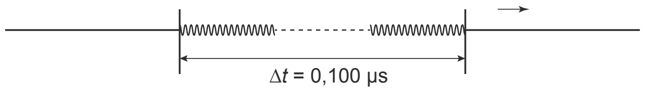
Sommige schepen hebben een radarinstallatie om de afstand tot andere schepen of voorwerpen in de omgeving te meten. Een radarinstallatie zendt hiervoor elektromagnetische signalen uit die weerkaatst worden door een voorwerp. Door de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van een signaal te meten, kan de afstand tot het voorwerp bepaald worden, ook als dat voorwerp zich op grote afstand van het schip bevindt.

Een veelgebruikt type radar is de pulsradar. Dit type radar zendt een kort elektromagnetisch signaal uit en ontvangt even later de echo van dit signaal. Op een bepaald moment wordt er 0,26 ms gemeten tussen het uitzenden en het ontvangen van een signaal.

3p **1** Bereken de afstand tot het voorwerp.

Het signaal is een puls die bestaat uit een aantal opeenvolgende elektromagnetische golven. Deze golven worden gemaakt met een vaste frequentie van 9,38 GHz. Eén puls duurt 0,100 μs. Zie figuur 1.

figuur 1



2p **2** Bereken uit hoeveel golven één puls bestaat.

Details met afmetingen van 10% van de golflengte zijn door de pulsradar net waar te nemen.

3p **3** Bereken de minimale afmeting van een voorwerp dat met deze pulsradar waar te nemen is.

Het bereik van een radar is de grootste afstand die met de radar gemeten kan worden. Het bereik wordt onder andere bepaald door het vermogen van de radar en de oppervlakte van het voorwerp dat de straling reflecteert, ook wel het doel genoemd.

Dit wordt beschreven met de radarvergelijking:

$$\frac{r^4}{PA} = \text{constant}$$

Hierin is:
- r het bereik (in m);
- P het vermogen van de radar (in W);
- A de reflecterende oppervlakte van het doel (in m^2).

Het bereik van een pulsradar is 30 km voor een doel met een reflecterende oppervlakte van 6,0 m^2. Bij gelijk vermogen is het bereik van deze radar voor een ander doel gelijk aan 45 km.

2p **4** Bereken hoe groot de reflecterende oppervlakte van dat andere doel is.

Het bereik wordt ook bepaald door de herhalingsfrequentie.
Dit is de frequentie waarmee de pulsen uitgezonden worden. Een nieuwe puls mag niet uitgezonden worden voordat de vorige puls is ontvangen. Op de uitwerkbijlage staan hierover drie zinnen.

2p **5** Omcirkel in deze zinnen telkens het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 5

Een radar met een lager vermogen heeft een **kleiner / groter** bereik voor

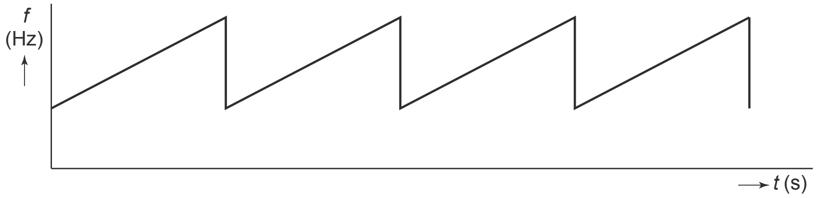
een doel met een bepaalde oppervlakte *A*.

De tijd tussen twee pulsen kan dan **korter / langer** zijn.

De herhalingsfrequentie is dan **lager / hoger**.

Naast de pulsradar bestaat er ook de breedbandradar. Dit type radar heeft twee antennes, één om continu uit te zenden en één om continu te ontvangen. Het vermogen van de zender blijft constant.
Het uitgezonden signaal is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2

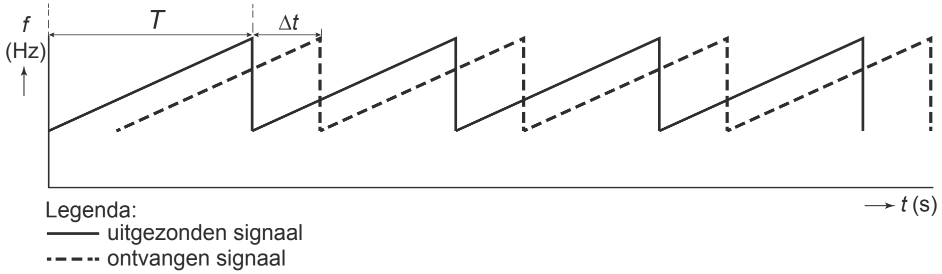


1p* **6** Geef aan of hier sprake is van frequentiemodulatie of van amplitudemodulatie.

Op de uitwerkbijlage is naast het uitgezonden signaal ook het signaal weergegeven dat de radar ontvangen heeft na weerkaatsing op een reflecterend doel. In deze figuur is de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van het signaal aangegeven met Δt. Ook de periode T van het signaal is aangegeven. Uit de verhouding $\Delta t/T$ is de afstand tot het reflecterende doel te bepalen.
Deze radar heeft een bereik van 75 km. Bij deze afstand geldt $\Delta t = T$. De echo is dan net terug voordat het signaal opnieuw wordt uitgezonden.

2p **7** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand tot dit reflecterende doel.

uitwerkbijlage bij vraag 7

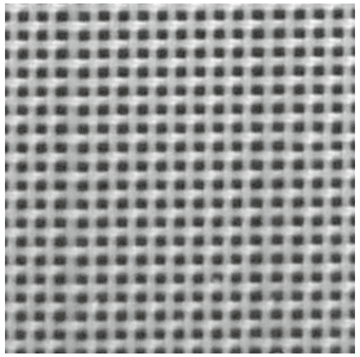


* Deze vraag valt vanaf 2020 buiten het examenprogramma.

Operatiedeken

Kleding wordt meestal gemaakt van textiel dat geweven is: de draden zijn in de lengterichting en in de breedterichting met elkaar verbonden, waardoor er een samenhang ontstaat. Zie vergroot in figuur 1.

figuur 1



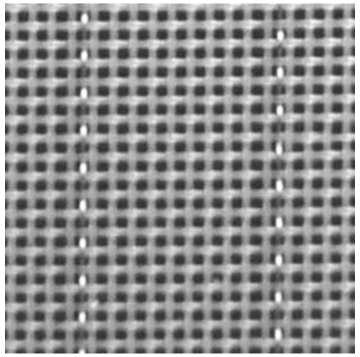
Om 1,0 m^2 van dit weefsel te maken is 8,8 km draad nodig.

Elke draad heeft een doorsnede met een oppervlakte van $3{,}85 \cdot 10^{-3}$ mm^2. De massa van 1,0 m^2 van het weefsel is 47 gram.

3p **8** Bereken de dichtheid van de draad.

Niet-geleidend weefsel kan elektrisch geleidend gemaakt worden door metaaldraden in de lengterichting mee te weven in de stof. In de breedte zijn geen geleidende draden opgenomen. Zie figuur 2.

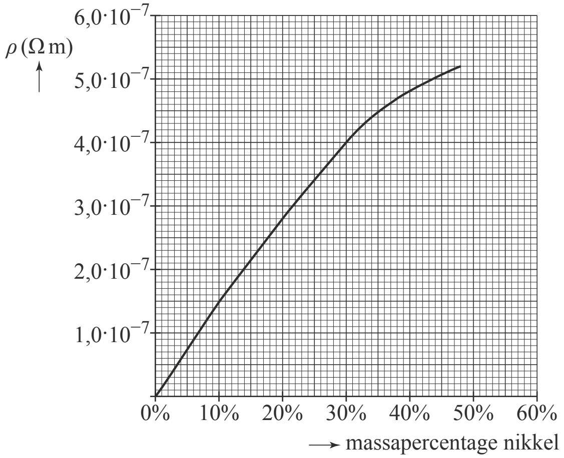
figuur 2



Een materiaal dat gebruikt kan worden voor de geleidende draden is een legering van koper (Cu) en nikkel (Ni).
Deze CuNi-draden hebben een diameter van 40 μm. De weerstand van 1,00 m van deze CuNi-draad is 250 Ω bij een temperatuur van 293 K.
In figuur 3 is de soortelijke weerstand van deze CuNi-draad als functie van het massapercentage nikkel gegeven bij T = 293 K.

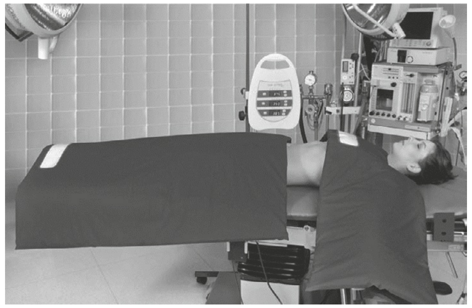
4p **9** Bepaal met behulp van figuur 3 het massapercentage nikkel voor deze CuNi-draad.

figuur 3

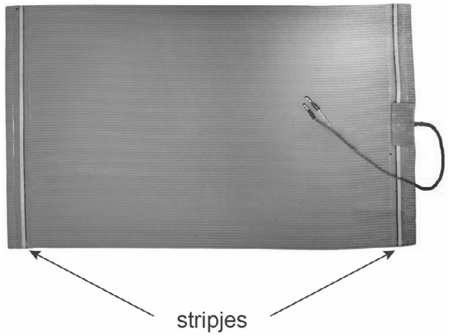


Geleidend textiel kan onder andere gebruikt worden als elektrisch verwarmde deken tijdens operaties. Zie figuur 4.
De geleidende draden in het weefsel van de deken zijn allemaal identiek. Deze verwarmingsdraden zijn met metalen stripjes met elkaar verbonden. Zie figuur 5 en 6. De weerstand van de metalen stripjes is te verwaarlozen.

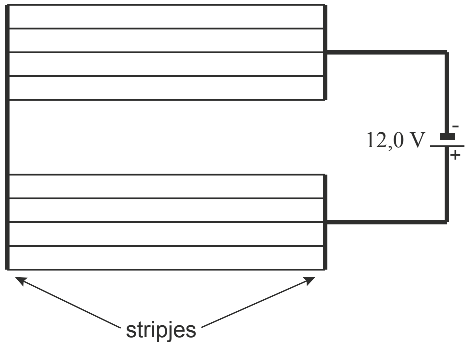
figuur 4



figuur 5



figuur 6



In de deken zitten 10 verwarmingsdraden volgens de schakeling van figuur 6. De verwarmingsdraden in de deken zijn van een ander materiaal dan CuNi gemaakt. Eén verwarmingsdraad heeft bij kamertemperatuur een weerstand van 3,6 Ω.

De deken heeft een totale weerstand van 1,4 Ω.

3p **10** Toon dit aan met behulp van een berekening.

Een patiënt wordt warm gehouden door de deken aan te sluiten op een spanningsbron van 12,0 V.

3p **11** Bereken het elektrisch vermogen van de deken direct na het inschakelen.

De operatiedeken mag tijdens het gebruik niet te warm worden. Het is voor het ontwerp van de deken belangrijk om te weten of de draden van PTC- of van NTC-materiaal gemaakt moeten worden. Op de uitwerkbijlage staan hierover een aantal zinnen.

3p **12** Omcirkel in deze zinnen telkens het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 12

Als de deken wordt ingeschakeld, neemt de temperatuur *T* van de deken toe. De spanning *U* over de deken is constant.

- Als de deken te warm is, zal het vermogen *P* van de deken **groter** moeten worden **/ kleiner** moeten worden **/ gelijk** moeten blijven.

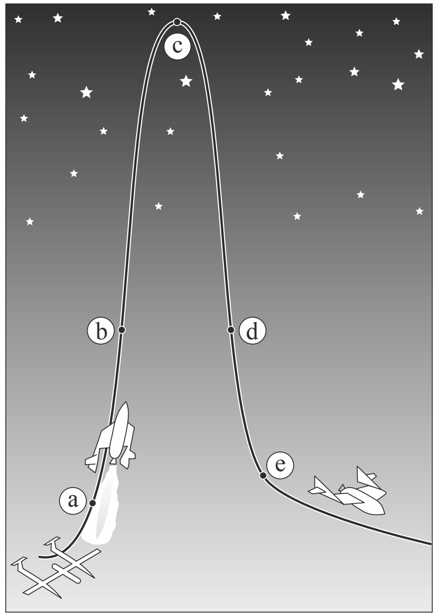
- De stroomsterkte *I* in de deken moet dan **groter** worden **/ kleiner** worden **/ gelijk** blijven.

- De weerstand *R* van de verwarmingsdraden moet dan met het oplopen van de temperatuur **groter / kleiner** worden.

- Deze verwarmingsdraden moeten dan van **NTC- / PTC-** materiaal gemaakt zijn.

SpaceShipOne

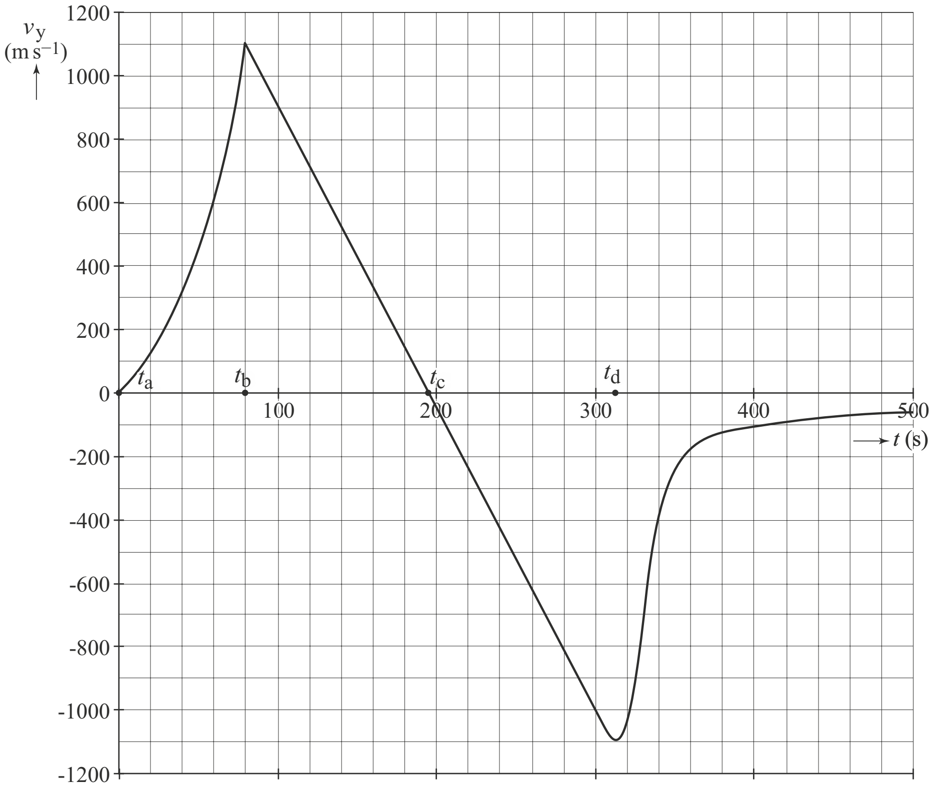
figuur 1



Sinds 2004 bestaat de mogelijkheid om met het ruimteschip SpaceShipOne een paar minuten in de ruimte te verblijven. In figuur 1 is getekend hoe dat gaat.
Figuur 1 is niet op schaal.
Een speciaal daarvoor gemaakt vliegtuig (de White Knight) brengt het ruimteschip SpaceShipOne naar een hoogte van ongeveer 15 km waar het ruimteschip wordt losgekoppeld. In de figuur zijn de punten a, b, c, d en e aangegeven.

– In punt a schakelt de raketmotor aan en dan gaat SpaceShipOne met een grote versnelling vrijwel verticaal omhoog.
– In punt b gaat de raketmotor uit.
– Punt c is het hoogste punt van de baan. Na het passeren van dit punt valt SpaceShipOne terug naar de aarde.
– Na het passeren van punt d begint het ruimteschip door de luchtweerstand weer af te remmen.
– Vanaf punt e gaat SpaceShipOne als zweefvliegtuig verder tot de landing.

figuur 2



In figuur 2 staat de grafiek van de verticale snelheid v_y als functie van de tijd van een vlucht van het ruimteschip. De tijdstippen die horen bij het passeren van de punten a, b, c en d zijn op de horizontale as aangegeven.

Tijdstip t_c hoort bij het hoogste punt c van de baan.

1p **13** Geef aan hoe dat uit de grafiek blijkt.

3p **14** Bepaal met behulp van de grafiek in figuur 2 de versnelling in punt c.

Op een bepaalde hoogte ten opzichte van de aarde (maar ook aan het aardoppervlak zelf) geldt voor de valversnelling:

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Hierin is:
- G de gravitatieconstante (in $N\,m^2\,kg^{-2}$);
- M de massa van de aarde (in kg);
- r de afstand tot het middelpunt van de aarde (in m).

4p **15** Bereken de valversnelling op 100 km hoogte.

De inzittenden van het ruimteschip zijn op een deel van hun vlucht gewichtloos; dit betekent dat de normaalkracht op de inzittenden op dat moment gelijk is aan 0 N.
Op de uitwerkbijlage staat hierover een tabel.

2p **16** Kruis in de tabel op de uitwerkbijlage aan of de inzittenden van het ruimteschip wel of niet gewichtloos zijn op de trajecten ab, bc, cd en in punt c.

uitwerkbijlage bij vraag 16

	wel gewichtloos	**niet** gewichtloos
traject ab		
traject bc		
in punt c		
traject cd		

Op tijdstip t_b wordt de motor uitgeschakeld en bevindt het ruimteschip zich op een hoogte van 45 km. Op tijdstip t_c wordt het hoogste punt bereikt.
Mensen die op een hoogte van 100 km of meer zijn geweest, mogen zich astronaut noemen.

4p **17** Toon met behulp van de grafiek in figuur 2 aan of de inzittenden van het ruimteschip zich na de vlucht astronaut mogen noemen.

Verontreinigd technetium

Technetium-99m wordt in ziekenhuizen gebruikt als tracer. Het Tc-99m dat daar voor nodig is, wordt in het ziekenhuis zelf geproduceerd. Tc-99m is een vervalproduct van molybdeen-99. Tc-99m is metastabiel. Dit betekent dat de protonen en neutronen in de kern van een Tc-99m atoom zich nog kunnen herschikken tot een toestand met minder energie.

3p **18** Geef de vergelijking van de vervalreactie waarbij Tc-99m ontstaat.

2p **19** Leg uit of er bij het gebruik van een tracer voor de patiënt sprake is van bestraling of van besmetting.

In het ziekenhuis wordt het Tc-99m van het Mo-99 gescheiden. Tijdens dit scheidingsproces blijft er Mo-99 in de oplossing van het Tc-99m achter.
Deze verontreiniging van het Tc-99m is ongewenst, omdat Mo-99 bètastraling uitzendt.

Volgens wettelijke eisen mag de activiteit van de Mo-99 verontreiniging maximaal 0,15 kBq zijn per 1,0 MBq activiteit van het Tc-99m.

De verhouding van activiteiten is te berekenen met:

$$\frac{A(t)_{\text{Mo-99}}}{A(t)_{\text{Tc-99m}}} = \frac{t_{\frac{1}{2}\text{Tc-99m}} \cdot N(t)_{\text{Mo-99}}}{t_{\frac{1}{2}\text{Mo-99}} \cdot N(t)_{\text{TC-99m}}}$$

3p **20** Bereken hoeveel Mo-99-kernen er maximaal per miljoen Tc-99m-kernen mogen voorkomen.

Het geproduceerde Tc-99m wordt bewaard in potten gemaakt van 6,0 mm dik lood. In een pot ontstaat de volgende straling:
- gammafotonen, met een energie van 0,1 MeV, uitgezonden door Tc-99m;
- bètadeeltjes, uitgezonden door Mo-99;
- gammafotonen, met een energie van 1,0 MeV, uitgezonden door Mo-99.

1p **21** Geef een reden waarom de bètadeeltjes, uitgezonden door Mo-99, niet buiten de pot gedetecteerd kunnen worden.

De intensiteit van de gammastraling van het Tc-99m buiten de pot is relatief klein. Het percentage van de oorspronkelijke intensiteit dat aan de buitenkant van de pot gemeten wordt, kan zowel voor Tc-99m als Mo-99 met behulp van de halveringsdikte bepaald worden. Op de uitwerkbijlage staan hierover twee tabellen.

3p **22** Voer de volgende opdrachten uit:
- Noteer op de uitwerkbijlage in de eerste tabel de halveringsdikte (in cm) van lood voor gammastraling met een energie van 0,1 MeV en met een energie van 1,0 MeV.
- Omcirkel op de uitwerkbijlage in de tweede tabel de intensiteit (in % van de oorspronkelijke intensiteit) van de gammastraling van Tc-99m en van Mo-99 buiten de pot.

uitwerkbijlage bij vraag 22

	0,1 MeV	1,0 MeV
halveringsdikte in cm		

intensiteit buiten de pot (%)	
Tc-99m	**Mo-99**
50-100	50-100
10-50	10-50
1-10	1-10
10^{-3}-1	10^{-3}-1
10^{-6}-10^{-3}	10^{-6}-10^{-3}
$<10^{-6}$	$<10^{-6}$

Als voor een behandeling in het ziekenhuis het Tc-99m te vroeg wordt geproduceerd, neemt de verontreiniging met Mo-99 toe. Op de uitwerkbijlage staan hierover drie zinnen.

2p **23** Omcirkel in deze zinnen telkens het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 23

De halveringstijd van Tc-99m is **kleiner dan / groter dan** de halveringstijd

van Mo-99 .

De activiteit van Tc-99m neemt daardoor

minder snel / even snel / sneller af dan/als de activiteit van Mo-99.

Voor de verhouding $\frac{A(t)_{\text{Mo-99}}}{A(t)_{\text{Tc-99m}}}$ geldt dan dat deze in de loop van de tijd

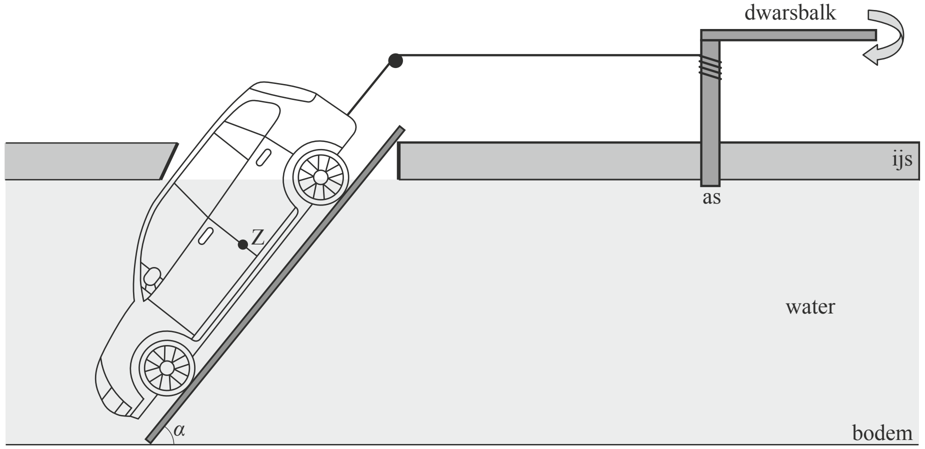
kleiner wordt / gelijk blijft / groter wordt.

Auto uit het ijs

figuur 1

In een filmpje op internet is te zien hoe enkele Russen met een staalkabel en houten planken een auto die door het ijs is gezakt weer boven water halen.
Tussen de auto en het ijs zijn planken gezet waarlangs de auto naar boven getrokken kan worden. In het ijs is een ronde as geslagen waar een dwarsbalk aan is vastgemaakt.
De staalkabel tussen de auto en de as kan worden opgedraaid door tegen deze dwarsbalk te duwen. Zie de foto in figuur 1 en het zijaanzicht in figuur 2.

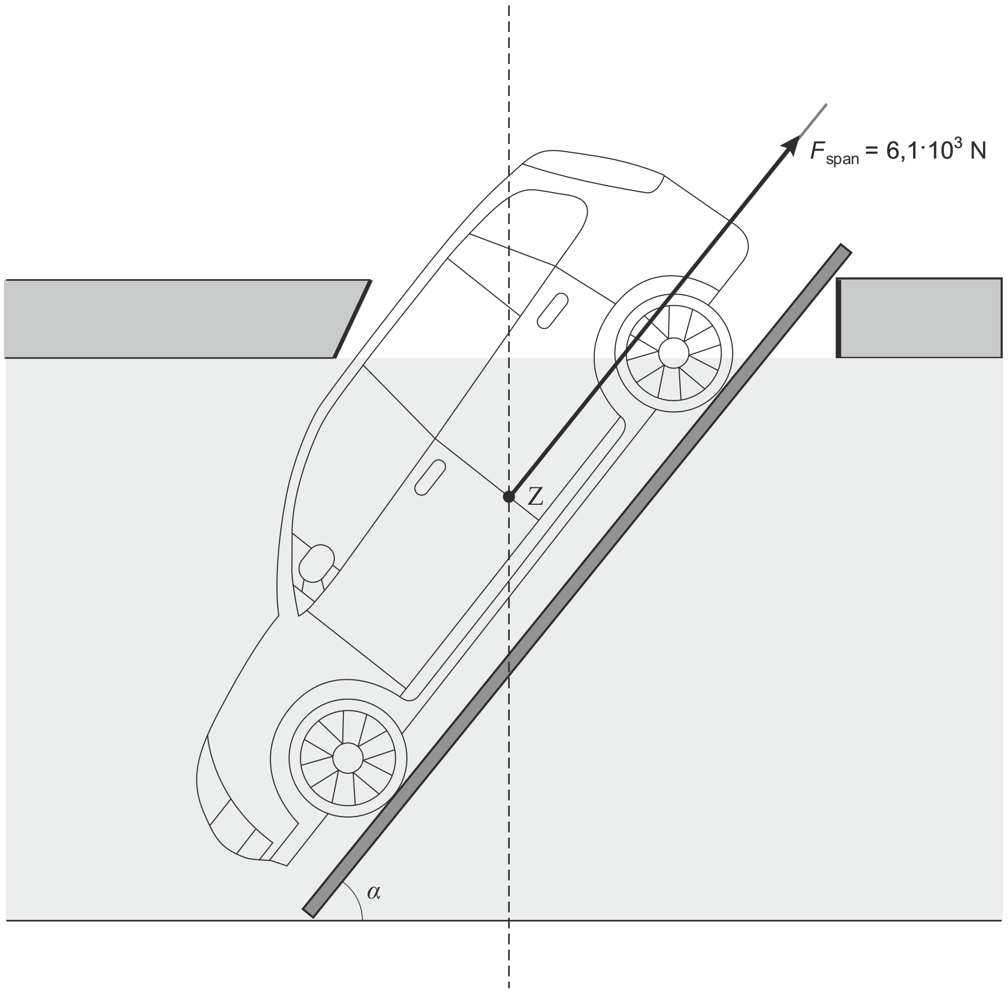
figuur 2



De planken maken een hellingshoek α met de bodem. Op de auto werken in deze situatie een spankracht, een normaalkracht en een kracht *F* recht omlaag. De kracht *F* is de resultante van de zwaartekracht omlaag en de kracht van het water op de auto omhoog. De auto wordt met constante snelheid tegen de helling naar boven getrokken.
Als de auto net is los getrokken van de bodem is de spankracht in de kabel $6{,}1 \cdot 10^3$ N. Een deel van figuur 2 staat op schaal op de uitwerkbijlage. De spankracht en de werklijn van *F* zijn hierin getekend vanuit het zwaartepunt Z.

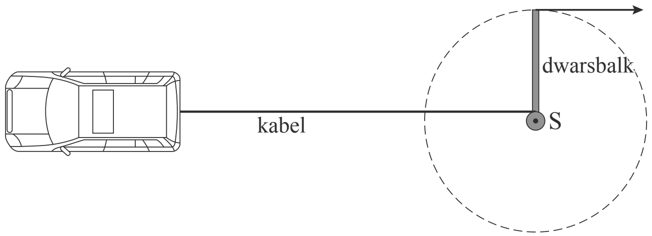
4p **24** Voer de volgende opdrachten uit op de uitwerkbijlage:
- Construeer de kracht *F* en de normaalkracht vanuit punt Z.
- Bepaal de grootte van *F* met behulp van deze constructie.

uitwerkbijlage bij vraag 24



De lengte van het uiteinde van de balk tot het draaipunt S is 5,0 m. De as heeft een diameter van 18 cm. Zie het bovenaanzicht in figuur 3.

figuur 3



In het begin duwt één man tegen het uiteinde van de balk. Zie de krachtvector in figuur 3. Deze figuur is niet op schaal.
De spankracht in de kabel is op dat moment $6{,}1 \cdot 10^3$ N.

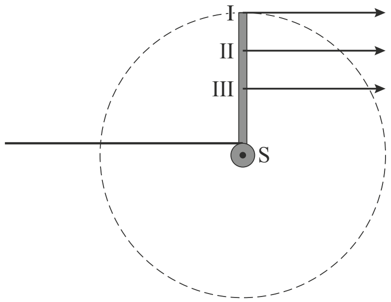
3p **25** Bereken de kracht waarmee de man tegen het uiteinde van de balk moet duwen om deze spankracht te kunnen leveren.

De kabel is gemaakt van koolstofstaal met een elasticiteitsmodulus van $0{,}20 \cdot 10^{12}$ N m^{-2} (1 N m^{-2} = 1 Pa). De spankracht is $6{,}1 \cdot 10^3$ N. Tijdens het spannen rekt de kabel uit. De kabel heeft een doorsnede met een oppervlakte van 80 mm^2 en een beginlengte van 15 m.

4p **26** Bereken de lengteverandering van de kabel tijdens het spannen.

Naarmate de auto verder uit het water komt, wordt de verticale kracht *F* op de auto groter en is er een grotere spankracht nodig. Daarom moeten drie mannen tegen de balk duwen op de plaatsen I, II en III. Zie figuur 4.

figuur 4



1p **27** Welke man loopt met de grootste snelheid?
A man I
B man II
C man III
D Iedere man loopt met dezelfde snelheid

In het ontwerp zijn verschillende veranderingen mogelijk. In de tabel op de uitwerkbijlage staan enkele voorstellen voor veranderingen.

3p **28** Kruis in de tabel per verandering aan of de kracht die één man op het einde van de dwarsbalk moet uitoefenen om de auto uit het ijs te takelen groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.

uitwerkbijlage bij vraag 28

verandering in ontwerp	**de kracht die één man aan het einde van de balk moet uitoefenen:**		
	wordt groter	wordt kleiner	blijft gelijk
langere dwarsbalk			
kleinere hellingshoek			
dikkere as			
langere kabel			

Hints bij examen 2018-I

1 Wat is de snelheid van het uitgezonden elektromagnetische signaal?
2 Wat is het verband tussen *f* en *T*?
3 Bereken eerst de golflengte van de elektromagnetische golf.
4 Maak gebruik van het gegeven: $P_{30km} = P_{45km}$.
5 Hoe luidt de radarvergelijking?
6 Welke grootheid varieert bij een breedbandradar?
7 Bepaal $\frac{\Delta t}{T}$.
8 Zie Binas 35C1.
9 Bereken eerst de soortelijke weerstand van de CuNi-draad.
10 Welke stripjes staan parallel en welke staan in serie?
11 Bereken de stroomsterkte *I* met de wet van Ohm.
12 Wat is het verband tussen *P*, *U* en *I*?
13 Wat gebeurt er in het punt C?
14 Hoe vind je de versnelling op een bepaald tijdstip in een (v,t)-diagram?
15 Zie Binas 31.
16 Wanneer is er tijdens de vlucht sprake van een 'vrije val'?
17 Hoe vind je de afgelegde weg in een (v,t)-diagram?
18 Zie Binas 40A.
19 Hoe wordt een tracer gebruikt?
20 Zie Binas 25A voor de halveringstijden.
21 Wat gebeurt er met β-straling die de loden wand binnendringt?
22 Zie Binas 28F. Vergelijk de halveringsdikten met de wanddikte van de pot.
23 Wat betekent het wanneer de halveringstijd van een atoom klein is?
24 Er is evenwicht van krachten.
25 Gebruik de hefboomwet.
26 Bereken eerst σ, dan ε en ten slotte $\Delta\ell$.
27 Kijk na een zekere draaiing van de balk naar de afgelegde weg van de drie mannen.
28 Er geldt: $M = F \cdot r$

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2018-I

Scheepsradar

3p **1** De afstand s die het signaal heeft afgelegd, vinden we met:
$s = v \cdot t$ (Binas 35A1), waarin:
$v = c$ [1p] = snelheid van een elektromagnetische golf = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)
t = tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van het signaal = 0,26 ms = $= 0{,}26 \cdot 10^{-3}$ s
Invullen: $s = 3{,}00 \cdot 10^8 \cdot 0{,}26 \cdot 10^{-3} = 7{,}8 \cdot 10^4$ m [1p]
De gevraagde afstand is de helft hiervan $\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot 7{,}8 \cdot 10^4 = 3{,}9 \cdot 10^4$ m [1p]

2p **2** Het aantal golven n waaruit één puls bestaat, berekenen we met: $n = \frac{\Delta t}{T}$ [1p], waarin:
Δt = tijdsduur van één puls = 0,100 μs = $0{,}100 \cdot 10^{-6}$ s (Binas 2)
T = tijdsduur van één trilling van de elektromagnetische golf
Er geldt: $T = \frac{1}{f}$ (Binas 35B1), met:
f = frequentie van de elektromagnetische golf = 9,38 GHz = $9{,}38 \cdot 10^9$ Hz (Binas 2)
zodat: $T = \frac{1}{9{,}38 \cdot 10^9} = 1{,}066 \cdot 10^{-10}$s
Invullen: $n = \frac{0{,}100 \cdot 10^{-6}}{1{,}066 \cdot 10^{-10}} = 938$ [1p]
Ook mag: $n = f \cdot \Delta t = 9{,}38 \cdot 10^9 \cdot 0{,}100 \cdot 10^{-6} = 938$

3p **3** De minimale afmeting ℓ van een voorwerp dat met deze pulsradar waar te nemen is, volgt uit: $\ell = 0{,}10 \cdot \lambda$ [1p], waarin:
λ = golflengte van deze elektromagnetische golf
Er geldt: $c = \lambda \cdot f$ [1p] (Binas 35B2) $\Rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$, met:
c = lichtsnelheid = $3{,}00 \cdot 10^8$ m s^{-1} (Binas 7A)
f = frequentie van de elektromagnetische golven = $= 9{,}38$ GHz = $9{,}38 \cdot 10^9$ Hz (Binas 2)
zodat: $\lambda = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{9{,}38 \cdot 10^9} = 3{,}20 \cdot 10^{-2}$ m
Invullen: $\ell = 0{,}10 \cdot 3{,}20 \cdot 10^{-2} = 3{,}2 \cdot 10^{-3}$ m [1p]

2p **4** De reflecterende oppervlakte A_2 van het andere (tweede) doel vinden we met:
$\frac{r_1^{\,4}}{P_1 \cdot A_1} = \text{constant} = \frac{r_2^{\,4}}{P_2 \cdot A_2}$ [1p], waarin:
r_1 = bereik bij het eerste doel = 30 km
$P_1 = P_2 = P$ = vermogen van de radar
A_1 = reflecterende oppervlakte van het eerste doel = 6,0 m^2
r_2 = bereik bij het tweede doel = 45 km
Invullen: $\frac{30^4}{P \cdot 6{,}0} = \frac{45^4}{P \cdot A_2} \Rightarrow A_2 = \frac{45^4 \cdot 6{,}0}{30^4} = 30$ m^2 [1p]

2p **5** Een radar met een lager vermogen heeft een **kleiner** / **groter** bereik voor een doel met een bepaalde oppervlakte A. [1p]
De tijd tussen twee pulsen kan dan **korter** / **langer** zijn.
De herhalingsfrequentie is dan **lager** / **hoger**. [1p]
- *Als in de formule* $\frac{r^4}{P \cdot A}$ *= constant P kleiner wordt, wordt r kleiner.*
- *De radargolf legt nu een kortere afstand r af, waardoor volgens r = c · t (Binas 35A1, c = lichtsnelheid) de tijd die de golf erover doet om heen en terug te gaan korter is ⇒ de tijd tussen twee pulsen kan korter zijn.*
- *Omdat de tijd T tussen twee pulsen korter kan worden, kunnen er meer pulsen per seconde worden uitgezonden en stijgt dus de frequentie f.*

1p **6** Er is sprake van frequentiemodulatie.
De frequentie f van het uitgezonden signaal verandert (zie figuur 2).

2p **7** Zie de uitwerkbijlage.
Voor het bereik van 75 km geldt:
de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van het signaal is T.
Voor de gevraagde afstand s tot het reflecterende doel is deze tijd Δt.
Dan geldt voor $s = \frac{\Delta t}{T} \cdot 75$ [1p] $= \frac{0{,}90 \text{ cm}}{2{,}70 \text{ cm}} \cdot 75 = 0{,}33 \cdot 75 = 25$ km [1p]
(Δt en T opgemeten in de uitwerkbijlage).

Operatiedeken

3p **8** We berekenen de dichtheid ρ van de draad met: $\rho = \frac{m}{V}$ [1p] (Binas 35C1), waarin:
m = massa van de benodigde hoeveelheid draad = 47 g = $47 \cdot 10^{-3}$ kg
V = volume van de draad
Er geldt: $V = \ell \cdot A$ [1p], met:
ℓ = lengte van de draad = 8,8 km = $8{,}8 \cdot 10^3$ m
A = doorsnede van de draad = $3{,}85 \cdot 10^{-3}$ mm^2 = $3{,}85 \cdot 10^{-9}$ m^2
zodat: $V = 8{,}8 \cdot 10^3 \cdot 3{,}85 \cdot 10^{-9} = 3{,}39 \cdot 10^{-5}$ m^3
Invullen: $\rho = \frac{47 \cdot 10^{-3}}{3{,}39 \cdot 10^{-5}} = 1{,}4 \cdot 10^3$ kg m^{-3} [1p]

4p **9** We berekenen eerst de soortelijke weerstand ρ van deze CuNi-draad met:
$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
R = weerstand van 1,00 m van deze CuNi-draad = 250 Ω
A = doorsnede van deze draad
Er geldt: $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right)^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d^2$ [1p] (Binas 36B), met:
r = straal van de doorsnede van de draad
d = $2 \cdot r$ = diameter van de draad = 40 μm = $40 \cdot 10^{-6}$ m
zodat: $A = \frac{1}{4}\pi \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2 = 1{,}26 \cdot 10^{-9}$ m^2
ℓ = lengte van de draad = 1,00 m
Invullen: $\rho = \frac{250 \cdot 1{,}26 \cdot 10^{-9}}{1{,}00} = 3{,}2 \cdot 10^{-7}$ Ω m [1p]
In figuur 3 lezen we af dat bij deze soortelijke weerstand het massapercentage nikkel 23% is. [1p]

3p **10** In de schakeling van figuur 6 zijn 2 groepen van 5 parallel geschakelde draden met elkaar in serie aangesloten. Voor de totale weerstand R_{totaal} geldt dan:
$R_{totaal} = R_{groep} + R_{groep} = 2 \cdot R_{groep}$ [1p] (Binas 35D1, serieschakeling), waarin:
R_{groep} = weerstand van een groep van 5 parallel geschakelde draden

Er geldt: $R_{groep} = \dfrac{1}{G_{groep}}$ (Binas 35D1), met:
G_{groep} = geleidbaarheid van de 5 parallel geschakelde draden [1p] $= 5 \cdot \dfrac{1}{R}$, met:
R = weerstand van één verwarmingsdraad = 3,6 Ω

zodat: $G_{groep} = 5 \cdot \dfrac{1}{3{,}6} = 1{,}39$ S

Dus: $R_{groep} = \dfrac{1}{1{,}39} = 0{,}72\ \Omega$

Invullen: $R_{totaal} = 2 \cdot 0{,}72 = 1{,}4\ \Omega$ [1p]

3p **11** Voor het elektrisch vermogen P van de deken direct na het inschakelen, geldt:
$P = U \cdot I$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
U = spanning van de spanningsbron = 12,0 V
I = stroomsterkte in de keten

Er geldt: $U = I \cdot R_{totaal}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow I = \dfrac{U}{R_{totaal}}$, met:
U = spanning van de spanningsbron = 12,0V
R_{totaal} = totale weerstand van de deken = 1,4 Ω

zodat: $I = \dfrac{12{,}0}{1{,}4} = 8{,}57$ A

Invullen: $P = 12{,}0 \cdot 8{,}57 = 1{,}0 \cdot 10^2$ W [1p]

3p **12** Als de deken wordt ingeschakeld, neemt de temperatuur T van de deken toe. De spanning U over de deken is constant.

- Als de deken te warm is, zal het vermogen P van de deken **groter** moeten worden / **kleiner** moeten worden / **gelijk** moeten blijven. [1p]
- De stroomsterkte I in de deken moet dan **groter** worden / **kleiner** worden / **gelijk** blijven.
- De weerstand R van de verwarmingsdraden moet dan met het oplopen van de temperatuur **groter** / **kleiner** worden. [1p]
- Deze verwarmingsdraden moeten dan van **NTC-** / **PTC-** materiaal gemaakt zijn. [1p]

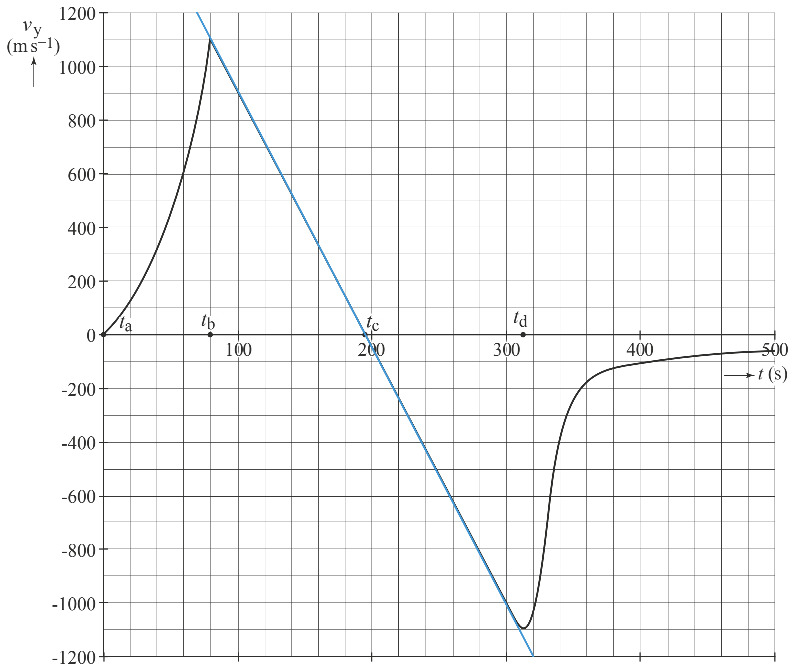
– *Bij een kleiner vermogen P wordt er minder warmte in de deken ontwikkeld.*
– *Bij een kleiner vermogen P wordt volgens P = U · I (Binas 35D1) de stroomsterkte I kleiner (U = constant).*
– *De stroom I moet kleiner worden; volgens U = I · R (Binas 35D1) moet de weerstand R dan groter worden (U = constant).*
– *Bij een PTC-weerstand neemt de weerstand bij temperatuurstijging toe (bij een NTC-weerstand neemt de weerstand bij temperatuurstijging juist af).*

©ThiemeMeulenhoff

SpaceShipOne

1p **13** Zie figuur 2.
Op het tijdstip t_c snijdt de grafiek de horizontale t-as.
Op dit tijdstip is de (verticale) snelheid van het ruimteschip 0 ⇒
⇒ tijdstip t_c hoort dus bij het hoogste punt c van de baan.
Ook goed is: op tijdstip t_c verandert de (verticale) snelheid van het ruimteschip van richting ⇒ het bevindt zich dan in het hoogste punt c van de baan.

3p **14** Zie de tekening (de ingetekende figuur 2).



De versnelling a_c in het punt c is gelijk aan de helling van de raaklijn aan de grafiek in het punt waarvoor geldt: $t = t_c$.
Teken deze raaklijn in figuur 2.

Er geldt: $a_c = \left(\dfrac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ [1p] $= \dfrac{-1200 - 1200}{320 - 70}$ [1p] $= \dfrac{-2400}{250} = -9{,}60$ m s^{-2} [1p]
(afgelezen in de tekening)

4p **15** Voor de valversnelling g op 100 km hoogte geldt: $g = \dfrac{G \cdot M}{r^2}$ [1p], waarin:
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
M = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg [1p] (Binas 31)
r = afstand tot het middelpunt van de aarde op 100 km hoogte
Er geldt: $r = h + R$, met:
h = hoogte van het ruimteschip boven de aarde = $= 100$ km $= 100 \cdot 10^3$ m $= 0{,}100 \cdot 10^6$ m
R = straal van de aarde = $6{,}371 \cdot 10^6$ m [1p] (Binas 31)
zodat: $r = 0{,}100 \cdot 10^6 + 6{,}371 \cdot 10^6 = 6{,}471 \cdot 10^6$ m

Invullen: $g = \dfrac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{(6{,}471 \cdot 10^6)^2} = 9{,}518$ m s^{-2} [1p]

©ThiemeMeulenhoff

2p **16** Zie de tabel (de ingevulde uitwerkbijlage).
[4 goed 2p, 3 of 2 goed 1p, 1 goed 0p]

	wel gewichtloos	niet gewichtloos
traject ab		X
traject bc	X	
in punt c	X	
traject cd	X	(X)

Op traject ab werken er twee krachten op de inzittenden: de zwaartekracht en de normaalkracht ten gevolge van de versnelling omhoog ⇒ ⇒ niet gewichtloos.
Op traject bc, in punt c en op traject cd werkt alleen de zwaartekracht op de inzittenden ⇒ ⇒ vrije val ⇒ wel gewichtloos.
Uit de inleidende tekst zou je kunnen opmaken dat er op het laatste stukje van traject cd al sprake is van enige luchtweerstand. Dan zijn de inzittenden niet meer geheel gewichtloos. Vandaar dat er (X) in het betreffende vakje is geplaatst.

4p **17** *methode 1*
Voor de bereikte hoogte h_c in het punt c geldt: $h_c = h_b + bc$, waarin:
h_b = op tijdstip t_b de hoogte van het ruimteschip boven de aarde = 45 km
bc = afstand die het ruimteschip (in verticale richting) aflegt als het van punt b naar punt c gaat. Deze afstand is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek in figuur 2 tussen de tijdstippen t_b en t_c. [1p]

We lezen af: $bc = \frac{1}{2} \cdot (195 - 80) \cdot 1100 = 63 \cdot 10^3$ m = 63 km [1p]

Invullen: $h_c = 45 + 63 = 108$ km [1p] (> 100 km)
De inzittenden van het ruimteschip mogen zich na de vlucht dus astronaut noemen. [1p]
methode 2
De bereikte hoogte h_c in het punt c kan ook berekend worden met de wet van behoud van energie, omdat op traject bc de luchtweerstand verwaarloosbaar is.
Er geldt: $E_{k,b} + E_{z,b} = E_{k,c} + E_{z,c}$ (Binas 35A4), waarin:
$E_{k,b}$ = kinetische energie van het ruimteschip in punt b
$E_{z,b}$ = zwaarte-energie in het punt b. We stellen $E_{z,b} = 0$
$E_{k,c}$ = kinetische energie in het punt c = 0
$E_{z,c}$ = zwaarte-energie in het punt c

Invullen: $E_{k,b} + 0 = 0 + E_{z,c} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}{}^2 = m \cdot g \cdot (h_c - h_b)$ (Binas 35A4) ⇒
$\Rightarrow h_c - h_b = \frac{v_{max}{}^2}{2 \cdot g}$ [1p], waarin:

m = massa van het ruimteschip
v_{max} = maximale snelheid = snelheid in punt b = 1100 m s^{-1} [1p] (afgelezen in figuur 2)
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
$h_c - h_b$ = hoogteverschil tussen de punten b en c
h_b = hoogte van het ruimteschip boven de aarde in het punt b = 45 km

Invullen: $h_c - h_b = \frac{1100^2}{2 \cdot 9{,}81} = 61{,}7 \cdot 10^3$ m = 61,7 km ⇒

$\Rightarrow h_c = 61{,}7 + h_b = 61{,}7 + 45 = 107$ km [1p] (> 100 km)
De inzittenden van het ruimteschip mogen zich na de vlucht dus astronaut noemen. [1p]

Verontreinigd technetium

3p **18** ${}^{99}_{42}\text{Mo} \rightarrow {}^{99m}_{43}\text{Tc} + {}^{0}_{-1}\text{e} \; (+ {}^{0}_{0}\gamma)$

- *Het symbool van molybdeen is Mo (Binas 40A of 99).*
- *Het atoomnummer van molybdeen is 42 (Binas 40A).*
- *Het massagetal van molybdeen-90 is 90.* [1p]
- *Het atoomnummer van technetium (Tc) is 43 (Binas 40A).*
- *Het massagetal van Tc-99m is 99.* [1p]
- *De som van de atoomnummers moet links en rechts van → gelijk zijn, dus het atoomnummer (de kernlading) van het deeltje dat vrijkomt is 42 – 43 = –1.*
- *De som van de massagetallen moet links en rechts van → gelijk zijn, dus het massagetal van het vrijgekomen deeltje is 99 – 99 = 0.*
- *Er komt dus een elektron ${}^{0}_{-1}$e (of β^-) vrij.* [1p]

2p **19** Bij het gebruik van een tracer wordt de radioactieve bron bij de patiënt *ingebracht*, [1p] dus is er sprake van besmetting. [1p]

3p **20** We berekenen het aantal Mo-99-kernen ($N(t)_{Mo\text{-}99}$) dat maximaal per miljoen Tc-99m-kernen mag voorkomen met:

$$\frac{A(t)_{Mo\text{-}99}}{A(t)_{Tc\text{-}99m}} = \frac{t_{\frac{1}{2}Tc\text{-}99m} \cdot N(t)_{Mo\text{-}99}}{t_{\frac{1}{2}Mo\text{-}99} \cdot N(t)_{Tc\text{-}99m}}$$, waarin:

$A(t)_{Mo\text{-}99}$ = activiteit van Mo-99 = 0,15 kBq = 0,15 · 10^3 Bq
$A(t)_{Tc\text{-}99m}$ = activiteit van Tc-99m = 1,0 MBq = 1,0 · 10^6 Bq [1p]
$t_{\frac{1}{2}Tc\text{-}99m}$ = halveringstijd van Tc-99m = 6,0 h (Binas 25A)
$t_{\frac{1}{2}Mo\text{-}99}$ = halveringstijd van Mo-99 = 65,9 h [1p] (Binas 25A)
$N(t)_{Tc\text{-}99m}$ = aantal Tc-99m-kernen = 1 miljoen = 1 · 10^6

Invullen: $\frac{0{,}15 \cdot 10^3}{1{,}0 \cdot 10^6} = \frac{6{,}0 \cdot N(t)_{Mo\text{-}99}}{65{,}9 \cdot 1 \cdot 10^6} \Rightarrow N(t)_{Mo\text{-}99} = 1{,}6 \cdot 10^3$ [1p]

1p **21** De bètadeeltjes (elektronen) hebben een te klein doordringend vermogen om door de loden wand van de pot te kunnen dringen.

3p **22** – Zie tabel 1 (de ingevulde uitwerkbijlage).
De gevraagde waarden van de halveringsdikten zijn te vinden in Binas 28F. [1p]

	0,1 MeV	1,0 MeV
halveringsdikte in cm	0,011	0,86

tabel 1

– Zie tabel 2 (de ingevulde uitwerkbijlage).
Tc-99m:
De intensiteit I_0 van de γ-straling in de pot, uitgezonden door Tc-99m is 0,1 MeV. Als deze straling 0,011 cm in het lood heeft doorlopen, is de intensiteit gehalveerd (zie tabel 1).
De wanddikte van de loden pot is 6,0 mm = 0,60 cm.
Dat is $\frac{0{,}60}{0{,}011}$ = 55 maal de halverings-dikte van lood bij deze straling.
De intensiteit van de γ-straling is dus buiten de pot $\left(\frac{1}{2}\right)^{55} \cdot I_0$ (Binas 35E3).

intensiteit buiten de pot (%)	
Tc-99m	**Mo-99**
50-100	**<u>50-100</u>**
10-50	10-50
1-10	1-10
10^{-3}-1	10^{-3}-1
10^{-6}-10^{-3}	10^{-6}-10^{-3}
<u><10^{-6}</u>	<10^{-6}

tabel 2

Dat komt overeen met een percentage dat veel kleiner is dan 10^{-6} %. [1p]

Mo-99:
De intensiteit I_0 van de γ-straling in de pot, uitgezonden door Mo-99 is 1,0 MeV. Als deze straling 0,86 cm in lood zou afleggen, is de intensiteit gehalveerd (zie tabel 1).
De intensiteit zou dan dus 50% van I_0 zijn. Na 0,60 cm wanddikte te hebben doorlopen, is de intensiteit van deze straling buiten de pot dus tussen de 50% en 100%. [1p]

2p **23** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

De halveringstijd van Tc-99m is **kleiner dan** / **groter dan** de halveringstijd

van Mo-99. [1p]

De activiteit van Tc-99m neemt daardoor

minder snel / **even snel** / **sneller** af dan/als de activiteit van Mo-99.

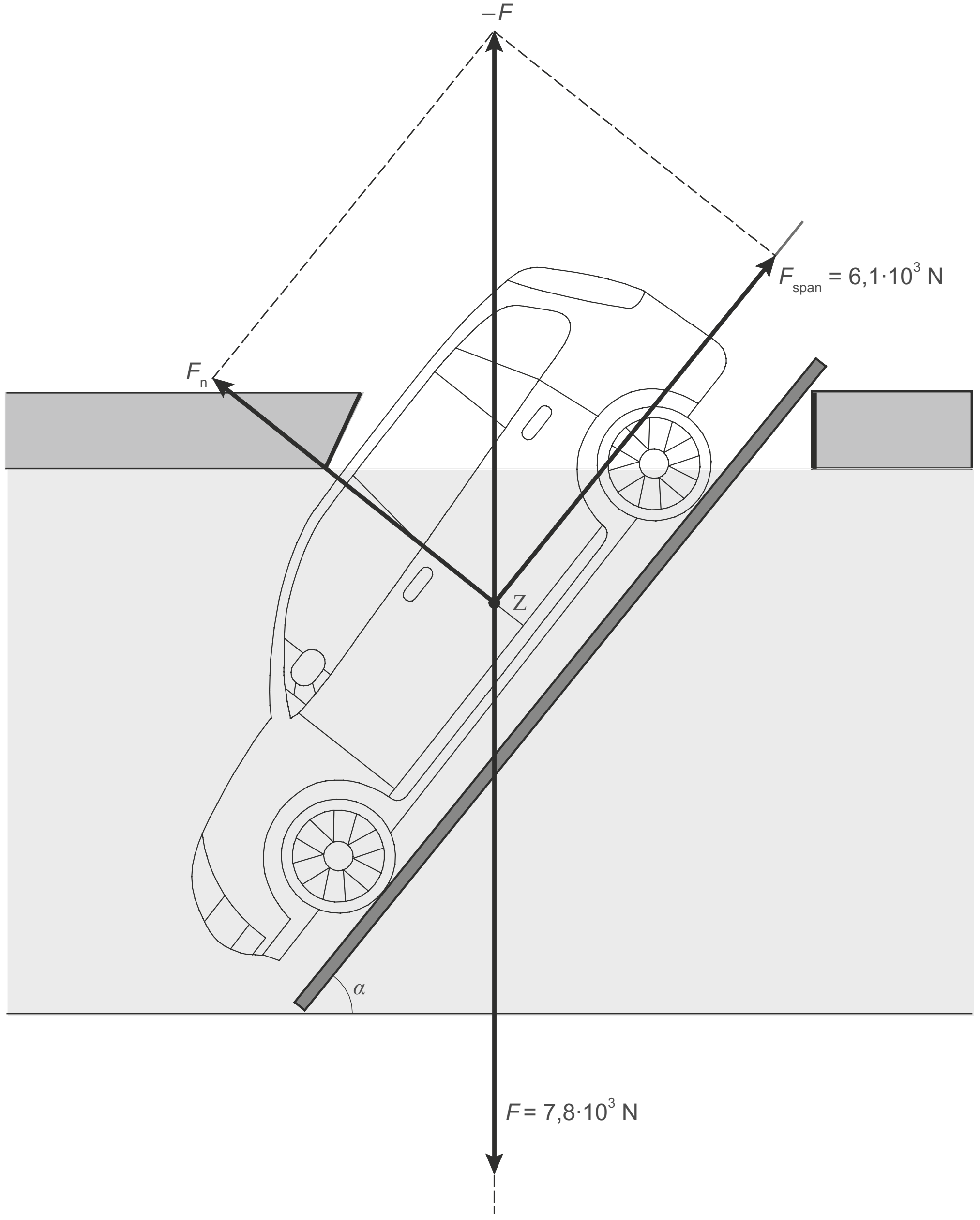
Voor de verhouding $\frac{A(t)_{\text{Mo-99}}}{A(t)_{\text{Tc-99m}}}$ geldt dan dat deze in de loop van de tijd

kleiner wordt / **gelijk blijft** / **groter wordt**. [1p]

- *Zie antwoord 20.*
- *Bij Tc-99m ($t_{\frac{1}{2}}$ = 6,0 h) is na 6,0 h de intensiteit van de straling gehalveerd.*
  Bij Mo-99 ($t_{\frac{1}{2}}$ = 65,9 h) is na 6,0 h de intensiteit van de straling nog lang niet gehalveerd.
- *In de verhouding $\frac{A(t)_{\text{Mo-99}}}{A(t)_{\text{Tc-99m}}}$ neemt de noemer sneller af dan de teller.*
  Daardoor wordt de verhouding in de loop van de tijd groter.

Auto uit het ijs

4p **24**
- Zie tekening 1 (de ingevulde uitwerkbijlage).
  De auto wordt met een constante snelheid omhoog getrokken, dus er is evenwicht van krachten: de verticaal naar beneden gerichte kracht F wordt gecompenseerd door de resultante van de spankracht F_{span} en de normaalkracht F_n. [1p]
  Teken door de pijlpunt van F_{span} een lijn loodrecht op de planken. Het snijpunt van deze lijn met de verticaal is de pijlpunt van de omhoog gerichte kracht –F. Deze kracht is even groot als en tegengesteld gericht aan F. Teken deze kracht F vanuit Z naar omlaag. Construeer de normaalkracht F_n met behulp van een parallellogram van krachten. [1p]
- Zie tekening 1 (de ingevulde uitwerkbijlage).
  De lengte van vector F_{span} is 6,1 cm (opgemeten in tekening 1).
  Deze lengte komt overeen met een kracht van $6{,}1 \cdot 10^3$ N.
  1,0 cm in de tekening komt dus overeen met een kracht van $1{,}0 \cdot 10^3$ N. [1p]
  De lengte van vector F is 7,8 cm (opgemeten in figuur 1) ⇒
  ⇒ de grootte van kracht F is gelijk aan $7{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 = 7{,}8 \cdot 10^3$ N [1p]



tekening 1

3p **25** We berekenen de kracht F_{man} waarmee de man duwt met de hefboomwet

(Binas 35A7): $F_{man} \cdot r_{man} = F_{span} \cdot r_{span}$ [1p] ⇒ $F_{man} = \frac{F_{span} \cdot r_{span}}{r_{man}}$, waarin:

r_{man} = arm van de kracht F_{man} =
= afstand tussen het uiteinde van de balk en het draaipunt S = 5,0 m

F_{span} = spankracht in de kabel = $6{,}1 \cdot 10^3$ N

r_{span} = arm van de kracht F_{span} = 0,5 · diameter van de as [1p] = $0{,}5 \cdot 18 \text{ cm} = 9{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

Invullen: $F_{man} = \frac{6{,}1 \cdot 10^3 \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-2}}{5{,}0} = 1{,}1 \cdot 10^2$ N [1p]

4p **26** De lengteverandering $\Delta\ell$ van de kabel tijdens het spannen volgt uit:

$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$ [1p] (Binas 35A6) $\Rightarrow \Delta\ell = \varepsilon \cdot \ell_0$, waarin:

ε = relatieve rek

Er geldt: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (Binas 35A6) $\Rightarrow$ $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ [1p], met:

σ = treksterkte = $\frac{F}{A}$ [1p] (Binas 35A6), met:

F = spankracht in de kabel = $6{,}1 \cdot 10^3$ N

A = oppervlakte van de doorsnede van de kabel = 80 mm^2 = $80 \cdot 10^{-6}$ m^2

zodat: $\sigma = \frac{6{,}1 \cdot 10^3}{80 \cdot 10^{-6}} = 7{,}63 \cdot 10^7$ N m^{-2}

E = elasticiteitsmodulus van koolstofstaal = $0{,}20 \cdot 10^{12}$ N m^{-2}

zodat: $\varepsilon = \frac{7{,}63 \cdot 10^7}{0{,}20 \cdot 10^{12}} = 3{,}82 \cdot 10^{-4}$

ℓ_0 = beginlengte van de kabel = 15 m

Invullen: $\Delta\ell = 3{,}82 \cdot 10^{-4} \cdot 15 = 5{,}7 \cdot 10^{-3}$ m [1p]

1p **27** Antwoord A.

Als de balk over een zekere hoek is gedraaid, heeft man I in een bepaalde tijd een grotere afstand afgelegd dan de mannen II en III.

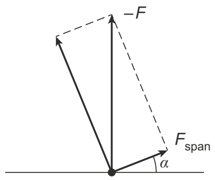
Uit $v = \frac{s}{t}$ (Binas 35A1) volgt dan dat man I met de grootste snelheid loopt.

3p **28** Zie de tabel (de ingevulde uitwerkbijlage).

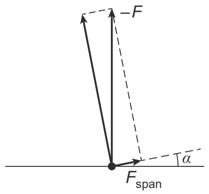
verandering in ontwerp	**de kracht die één man aan het einde van de balk moet uitoefenen:**		
	wordt groter	wordt kleiner	blijft gelijk
langere dwarsbalk		X	
kleinere hellingshoek		X	
dikkere as	X		
langere kabel			X

[4 goed 3p, 3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]

- *langere dwarsbalk:*
  De arm r van de kracht F die één man moet uitoefenen is groter, dus volgens $M = F \cdot r$ (Binas 35A7) wordt voor eenzelfde moment M de kracht F kleiner.
- *kleinere hellingshoek:*
  Bij een kleinere hellingshoek α is de spankracht F_{span} in de kabel kleiner (zie tekening 2a en 2b), waardoor de kracht die één man aan het einde van de balk moet uitoefenen, kleiner is.



tekening 2a



tekening 2b

- *dikkere as:*
  Bij een dikkere as is voor het moment $M = F_{span} \cdot r_{as}$ de straal r_{as} van de as groter, waardoor het moment M groter wordt.
  De kracht die de man moet uitoefenen wordt dan ook groter.
- *langere kabel:*
  Bij een langere kabel blijven de krachten en de armen van de krachten even groot, dus de kracht die de man moet uitoefenen blijft even groot.

©ThiemeMeulenhoff

Examen 2018-II

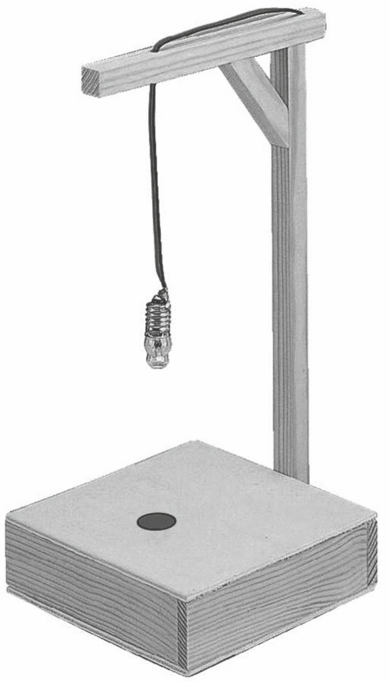
Magische lamp

Amy heeft in een techniekmuseum een demonstratie van een magische lamp gezien. Zie figuur 1.

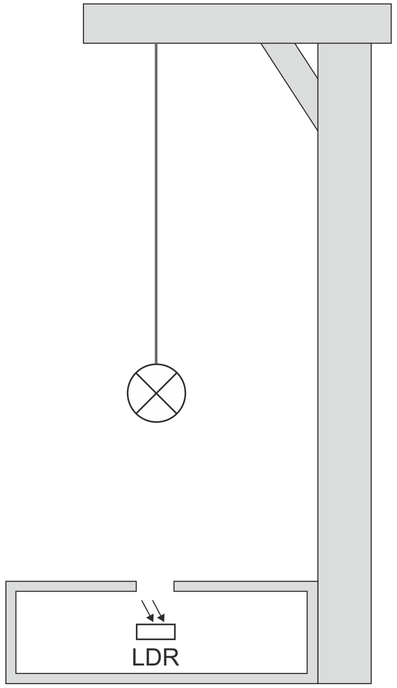
De demonstratie ging als volgt:
- Er werd een (brandende) lucifer onder een lampje gehouden. Het lampje ging vervolgens aan.
- Toen de lucifer werd weggehaald bleef het lampje licht geven.
- Vervolgens werd er tegen het lampje geblazen. Tijdens het blazen bewoog het lampje opzij en stopte het met licht geven.

In het doosje onder het lampje zit een klein gat waar het lampje doorheen schijnt. Amy vermoedt dat er in de opening onder het lampje een lichtgevoelige weerstand (LDR) zit. Zie figuur 2.

figuur 1



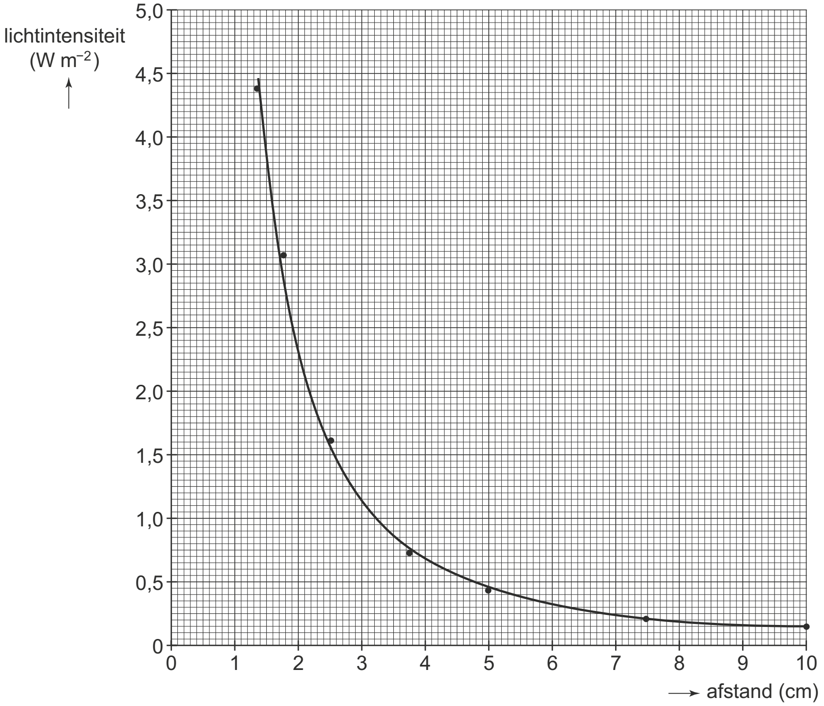
figuur 2



Ze wil zelf een magische lamp gaan maken met een LED als lampje en een LDR.

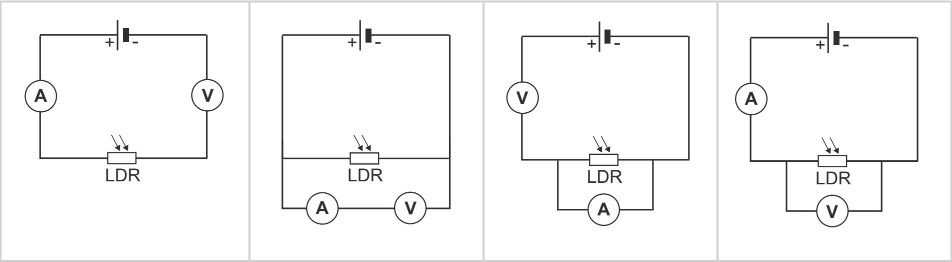
Eerst meet ze de lichtintensiteit (in W m^{-2}) op verschillende afstanden van het lampje. Van deze metingen maakt ze het diagram dat is weergegeven in figuur 3.

figuur 3



Vervolgens wil ze het verband onderzoeken tussen de weerstand van de LDR en de lichtintensiteit. Ze heeft een schakeling nodig om de weerstand van de LDR te kunnen bepalen.

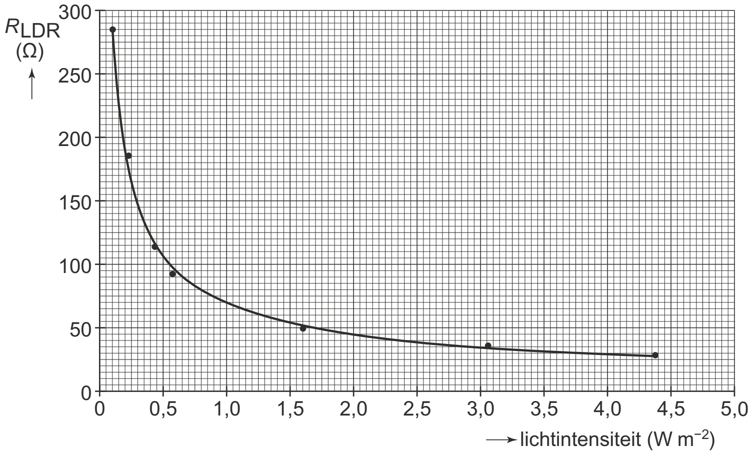
1p **1** Welke van de onderstaande elektrische schakelingen moet Amy daarvoor gebruiken?



A **B** **C** **D**

Uit haar meting volgt het diagram dat is weergegeven in figuur 4.

figuur 4

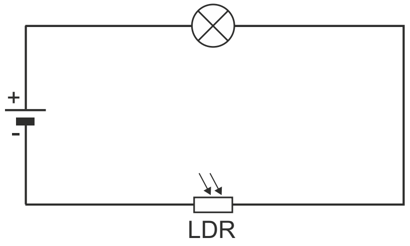


Amy bouwt zelf een magische lamp met deze LDR en het lampje. Het lampje hangt ze boven de LDR. Er valt alleen licht van het lampje op de LDR. Het lampje brandt normaal, de weerstand van de LDR is dan 40 Ω.

2p **2** Bepaal hoe hoog Amy het lampje boven de LDR heeft gehangen.

Haar schakeling is weergegeven in figuur 5. De spanningsbron geeft een spanning van 3,6 V. Het lampje brandt normaal op een spanning van 1,9 V. De LDR gaat kapot als hij meer dan 200 mW aan warmte produceert.

figuur 5



4p **3** Toon met een berekening aan of de LDR heel blijft als het lampje normaal brandt.

Voordat het lampje licht gaat geven, moet het eerst 'aangestoken' worden. Dat doet Amy door een brandende lucifer tussen het lampje en de LDR te houden. Na afloop kan Amy het lampje laten uitgaan door er tegen te blazen.

4p **4** Leg uit:
- Waarom het lampje licht gaat geven wanneer de lucifer tussen het lampje en de LDR wordt gehouden.
- Waarom het lampje licht blijft geven als de lucifer daarna wordt weggehaald.
- Waarom het lampje vervolgens uitgaat als het opzij wordt geblazen.

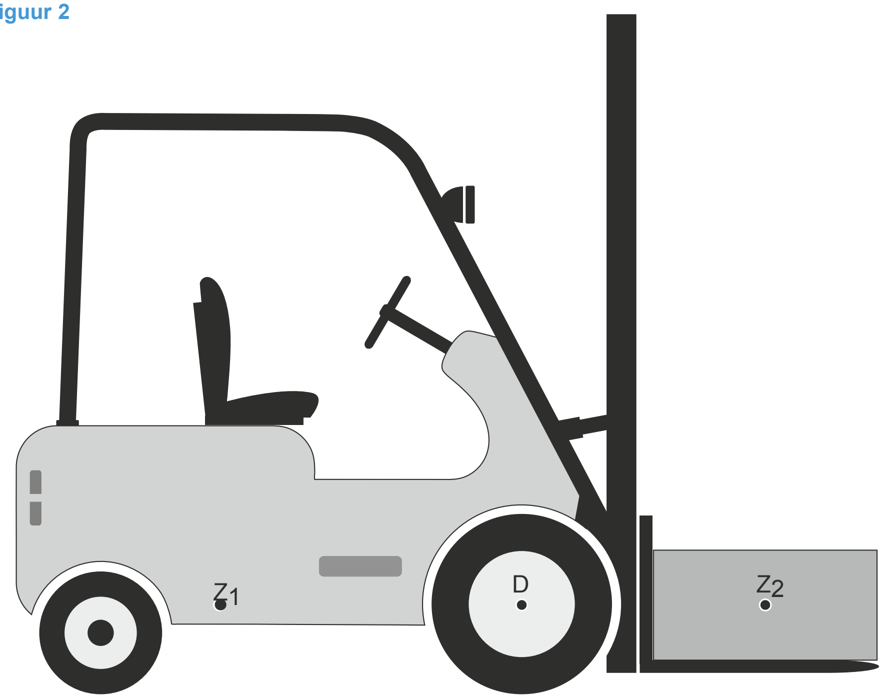
Heftruck

Met een heftruck kunnen zware pakketten worden opgetild en vervoerd. Zie figuur 1.

figuur 1

Als een pakket te zwaar is, kantelt de heftruck voorover. Neem aan dat het draaipunt D in de voorste as ligt. Zie figuur 2.

figuur 2

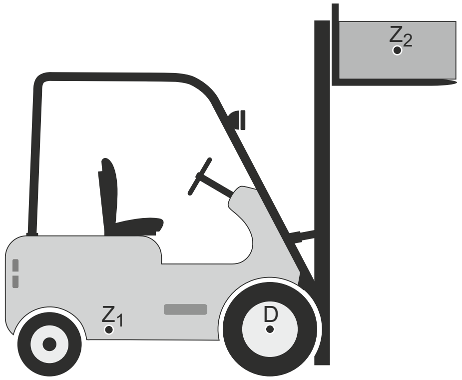


Het zwaartepunt van de heftruck is aangegeven met Z_1 en het zwaartepunt van het pakket met Z_2. De massa van de heftruck zonder de lading is 3,4 ton. Figuur 2 staat op schaal weergegeven.

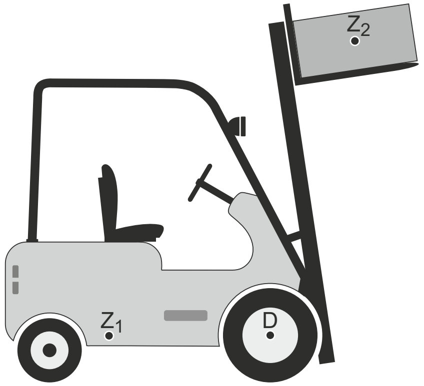
3p **5** Bepaal met behulp van figuur 2 hoe groot de massa van het pakket maximaal mag zijn voordat de heftruck gaat kantelen.

Een heftruck heeft een lift om pakketten hoog weg te kunnen zetten.
In figuur 3 is het pakket door de lift verticaal omhoog getild. In figuur 4 is de lift een beetje schuin gezet.

figuur 3



figuur 4



De heftruck staat stil in beide situaties. Het risico voor de heftruck om voorover te kantelen neemt door het schuin zetten van de lift af.

1p **6** Welke van de volgende stellingen geeft hiervoor de juiste reden?

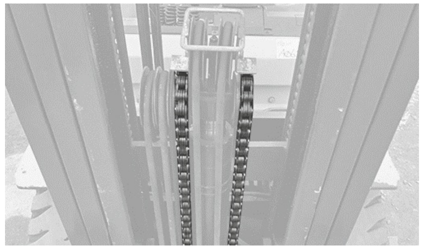
- **A** De arm van de kracht op de lading is kleiner geworden.
- **B** De normaalkracht op de voorwielen is groter geworden.
- **C** De normaalkracht op het pakket is afgenomen.
- **D** De plaats van het zwaartepunt Z_1 van de heftruck is richting het draaipunt verschoven.

Tijdens het rijden en het remmen mag het pakket niet van de lift afschuiven. Vergelijk de stand van de lift in figuren 3 en 4 met elkaar.

1p **7** Geef een natuurkundige reden waarom het pakket tijdens het remmen in figuur 3 eerder van de lift schuift dan in figuur 4.

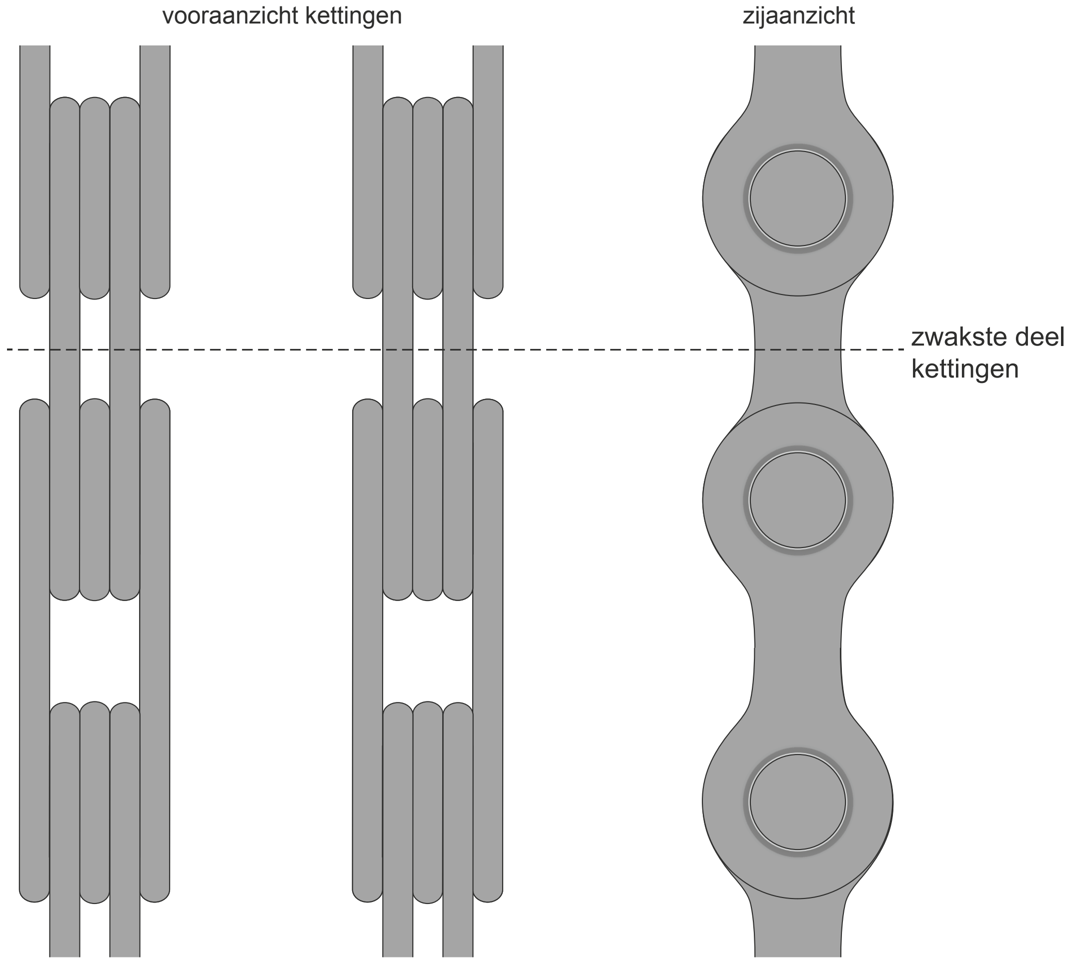
De lift wordt omhoog getrokken door 2 kettingen. Zie figuur 5. Een ketting is gemaakt van schakels. Iedere schakel bestaat uit 2 staalplaatjes.
De treksterkte van een ketting is gelijk aan de totale treksterkte van die staalplaatjes in een schakel. Op de uitwerkbijlage staan op ware grootte een vooraanzicht en zijaanzicht van de 2 kettingen. Met een lijn is aangegeven waar de schakels breken bij te zware belasting. Op de uitwerkbijlage staat ook het spanning-rekdiagram van de gebruikte staalsoort.

figuur 5

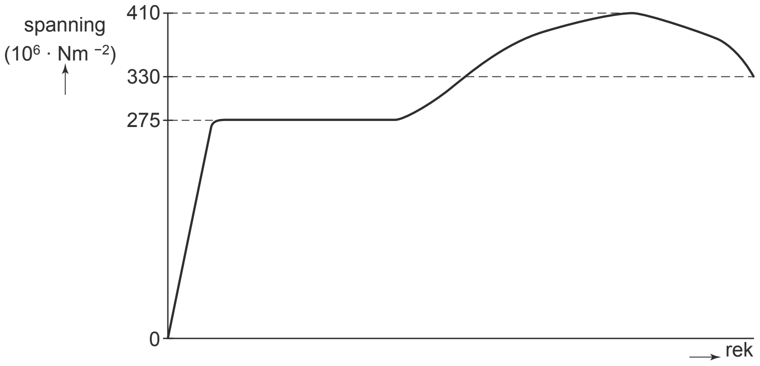


5p **8** Bepaal de maximale (span)kracht die de kettingen samen kunnen uitoefenen zonder blijvend te vervormen.

uitwerkbijlage bij vraag 8



vervolg van de uitwerkbijlage bij vraag 8



De heftruck wordt gebruikt om identieke pakketten te stapelen in een magazijn.
De lift tilt ieder pakket in (gemiddeld) 7,0 s recht omhoog met een snelheid van 0,44 m s^{-1}. Eén pakket heeft een massa van $2{,}0 \cdot 10^3$ kg.
Het elektrische vermogen van de lift is 11 kW.

3p **9** Bereken het rendement van de lift.

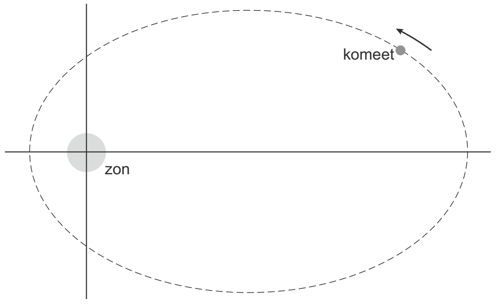
De lift is aangesloten op een accu waarop staat: 48 V; 400 Ah. Deze 400 Ah betekent: de accu kan 400 uur lang een stroom leveren van 1 A, 200 uur lang 2 A, enzovoort.

3p **10** Bereken hoe lang de lift kan werken als begonnen wordt met een volle accu.

Rosetta

In 1969 is de komeet Churyumov-Gerasimenko ontdekt.
Deze komeet beweegt in een ellipsvormige baan om de zon. In figuur 1 staat een bovenaanzicht van de baan. Deze figuur staat vergroot op de uitwerkbijlage.

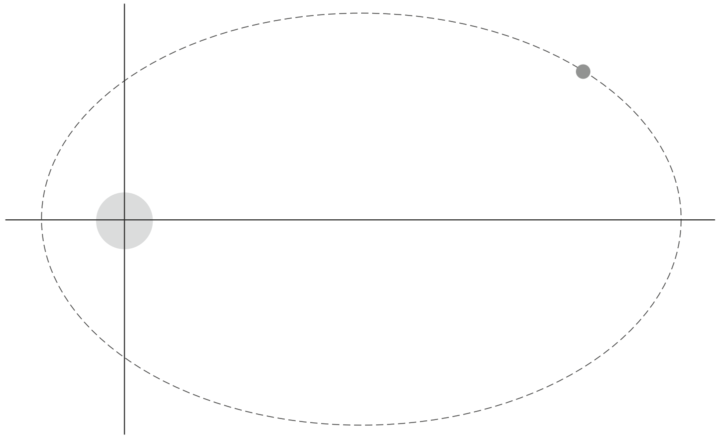
figuur 1



De pijl geeft de bewegingsrichting van de komeet om de zon aan. De zon oefent een gravitatiekracht uit op de komeet.

4p **11** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de gravitatiekracht op de komeet als een pijl met een lengte van 3,5 cm in de juiste richting.
- Ontbind deze kracht in een component langs de baan en een component loodrecht op de baan.
- Leg uit of de grootte van de snelheid van de komeet op dit punt in de baan verandert.

uitwerkbijlage bij vraag 11



Wetenschappers hebben een eerste schatting kunnen maken van de massa en de dichtheid van de komeet:
- De massa ligt tussen $0{,}9 \cdot 10^{13}$ kg en $1{,}1 \cdot 10^{13}$ kg;
- De dichtheid ligt tussen 500 kg m^{-3} en 550 kg m^{-3}.

Zij willen berekenen wat de **grootste** waarde is die het volume van de komeet zou kunnen hebben.

1p **12** Welke waarden moeten zij dan in hun berekening gebruiken?
- **A** De grootste massa en de grootste dichtheid.
- **B** De grootste massa en de kleinste dichtheid.
- **C** De kleinste massa en de grootste dichtheid.
- **D** De kleinste massa en de kleinste dichtheid.

Om Churyumov-Gerasimenko van dichtbij te kunnen onderzoeken is de ruimtesonde Rosetta gelanceerd. Na een reis van 10 jaar en 6,5 miljard kilometer is Rosetta aangekomen bij de komeet.

3p **13** Bereken de gemiddelde snelheid in km s^{-1} van Rosetta tijdens de reis.

Rosetta draait in een cirkelvormige baan rondom de komeet. De baan heeft een straal van $20 \cdot 10^3$ m.
De komeet heeft een massa van $M = 1{,}0 \cdot 10^{13}$ kg.

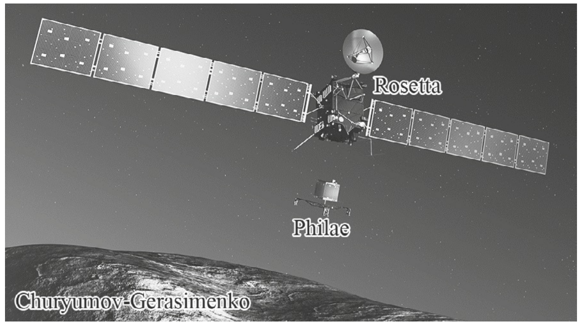
4p **14** Bereken de baansnelheid van Rosetta.

Rosetta doet vanuit haar baan metingen aan de komeet. Zo is de temperatuur van de komeet bepaald met behulp van de straling die door de komeet wordt uitgezonden.
De straling die de komeet het meest uitzendt heeft een golflengte van $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ m.

3p **15** Bereken de temperatuur van de komeet in °C.

Vanuit Rosetta is de komeetlander Philae naar de komeet afgedaald. Zie figuur 2. De landing op de komeet is anders verlopen dan van tevoren was bedacht. Philae zou na de landing verankerd worden aan het oppervlak van de komeet. Dat is echter niet gebeurd, zodat Philae weer omhoog is gestuiterd na de landing. Zie figuur 3. De snelheid vlak voor de landing is 1,1 m s^{-1}.
Vlak na het opstuiten is de snelheid 0,38 m s^{-1}.

figuur 2



ESA-C. Carreau/ATG medialab

3p **16** Bereken hoeveel procent van de kinetische energie van Philae na de landing nog over is.

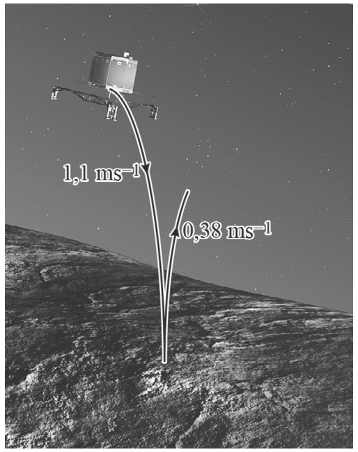
De ontsnappingssnelheid is de snelheid die minimaal nodig is om te ontsnappen van een hemellichaam en er niet meer op terug te vallen. Hiervoor geldt:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Hierin is G de gravitatieconstante. Voor de komeet geldt:
- $R = 2{,}9$ km;
- $M = 1{,}0 \cdot 10^{13}$ kg.

3p **17** Toon aan of Philae weer terug is gevallen naar de komeet.

figuur 3



ESA-C. Carreau/ATG medialab

Renium-188

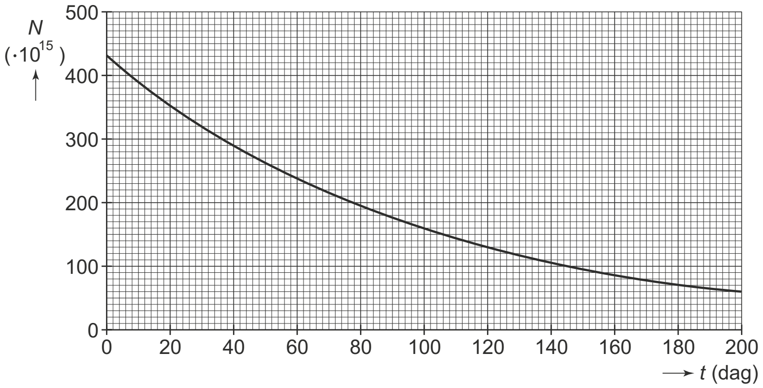
Renium-188-HEDP is een vorm van bestraling die gebruikt wordt om bottumoren te behandelen. Atomen van het radioactieve renium-188 (Re-188) worden daarvoor gekoppeld aan atomen van een stof die door botten wordt opgenomen. Hiermee kan men specifieke tumoren in botten bestralen.

Re-188 ontstaat door het verval van wolfraam-188 (W-188). In een laboratorium wordt eerst van het stabiele W-186 het isotoop W-188 gemaakt.

1p **18** Hoe verschillen de atomen W-186 en W-188 van elkaar?
- **A** Een atoom W-188 heeft alleen twee elektronen meer dan een atoom W-186.
- **B** Een atoom W-188 heeft alleen twee neutronen meer dan een atoom W-186.
- **C** Een atoom W-188 heeft alleen twee protonen meer dan een atoom W-186.
- **D** Een atoom W-188 heeft twee protonen en twee elektronen meer dan een atoom W-186.

Een laborant heeft een bepaalde hoeveelheid W-188 aangemaakt op $t = 0$ s.
In figuur 1 staat de grafiek van het verdere verloop van het aantal kernen W-188 als functie van de tijd.

figuur 1



3p **19** Bepaal de activiteit van het wolfraam op t = 0 s. Geef daarbij in figuur 1 aan hoe je aan je antwoord komt.

Re-188 is een β- en γ-straler. In figuur 2 staat een tabel met een aantal eigenschappen van Re-188.

figuur 2

Eigenschap	Re-188
Uitgezonden straling	β en γ
Energie van de γ-fotonen	0,155 MeV
Energie van de β-deeltjes	2,12 MeV
Halveringstijd	17 uur

3p **20** Geef de vergelijking van de vervalreactie van Re-188 waarbij ook een γ-foton wordt uitgezonden.

3p **21** Welke soort straling levert de grootste bijdrage aan de behandeling van de bottumor? Geef twee argumenten waarom de bijdrage van die soort straling het grootst is.

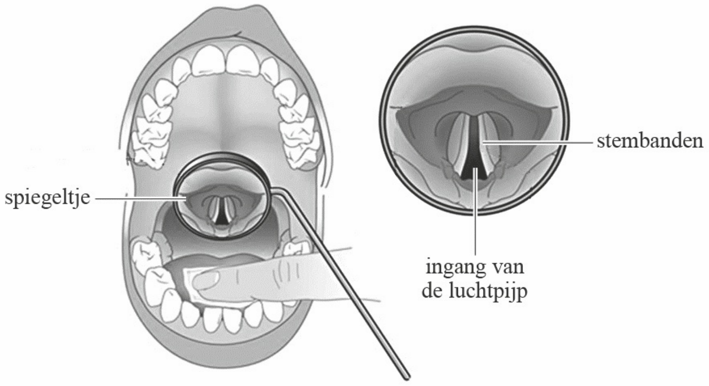
In het ziekenhuis kan de arts een hoeveelheid van het gevormde renium uit de generator halen voor de behandeling van een patiënt. Bij deze patiënt wordt een hoeveelheid renium-188 toegediend met een activiteit van 120 MBq. Omdat renium vervalt en ook wordt uitgescheiden via de urine, is de totale stralingsbelasting door de β-straling voor het lichaam niet zo hoog, namelijk 0,070 mGy per toegediende MBq.

3p **22** Bereken de equivalente dosis die de patiënt als gevolg van de β-straling zal ontvangen.

Elektrolarynx

De menselijke stem produceert geluid door het in trilling brengen van de stembanden achter in de keel. Zie figuur 1.

figuur 1

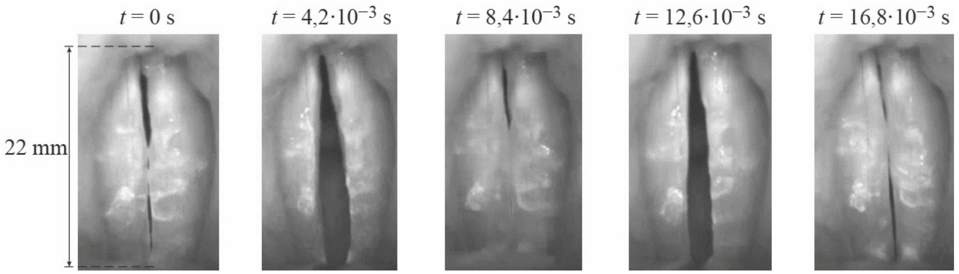


Deze trilling ontstaat als er lucht langs de stembanden geperst wordt. De stembanden zijn dan te beschouwen als snaren die trillen.

Op de uitwerkbijlage staat een reeks foto's die gemaakt zijn tijdens het trillen van de stembanden van een man. De stembanden van deze man zijn 22 mm lang. In deze opgave wordt aangenomen dat dit gelijk is aan de golflengte.

3p **23** Bepaal met behulp van de foto's de golfsnelheid in de stembanden.

uitwerkblijlage bij vraag 23



Roken kan ervoor zorgen dat de stembanden opzwellen door een ophoping van vocht. Hierdoor neemt de massa van de stembanden toe. De stembanden kunnen beschouwd worden als een massa-veersysteem met een constante veerconstante.

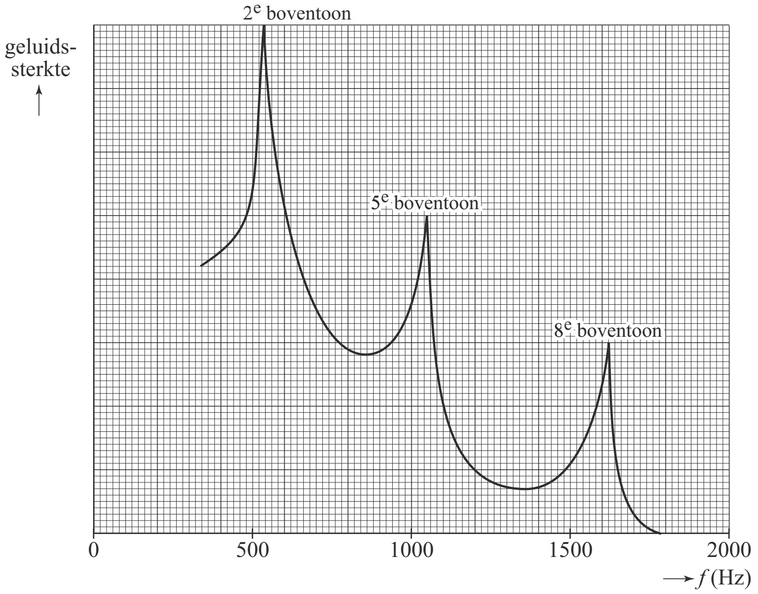
2p **24** Leg met behulp van de formule voor een massa-veersysteem uit of roken zorgt voor een toename of afname van de frequentie van het stemgeluid.

Het (u,t)-diagram in figuur 2 is van een vrouw die een toon zingt. De toon is een combinatie van een grondtoon met boventonen.

figuur 2

Van het (u,t)-diagram is een zogenaamde frequentiekarakteristiek gemaakt. Zie figuur 3.

figuur 3



Op de horizontale as van dit diagram is de frequentie uitgezet. Op de verticale as staat een maat voor geluidssterkte.
In de karakteristiek zijn pieken te zien. Dit zijn boventonen van de stembanden en deze boventonen bepalen de klank van het stemgeluid. De pieken in de karakteristiek horen bij de 2e, 5e en 8e boventoon.

Voor de grondtoon en boventonen geldt:

$$\frac{n}{f} = c$$

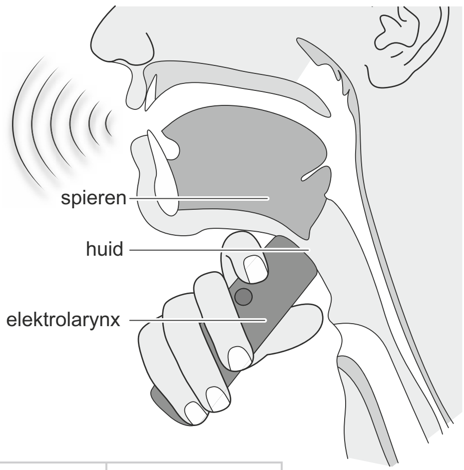
Hierin is:
- n de toon; n = 1 is de grondtoon, n = 2 de eerste boventoon, etc.;
- f de frequentie in Hz;
- c een constante.

3p **25** Bepaal met behulp van deze formule en de grafiek in figuur 3 de grondtoon van de stembanden van de vrouw.

Soms is het noodzakelijk om de stembanden te verwijderen. Ter vervanging van de stembanden kan een elektrolarynx worden gebruikt. Dit is een apparaatje dat tegen de keel wordt gedrukt. Het produceert trillingen en geeft deze via de huid en de spieren door aan de mond.
Zie figuur 4. De frequentie van deze trillingen blijft gelijk tijdens de voortplanting door de huid en de spieren. De voortplantingssnelheid in de huid is $1{,}73 \cdot 10^3$ m s^{-1}.

3p **26** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage aan hoe de grootheden veranderen bij de overgang van huid naar spieren.

figuur 4

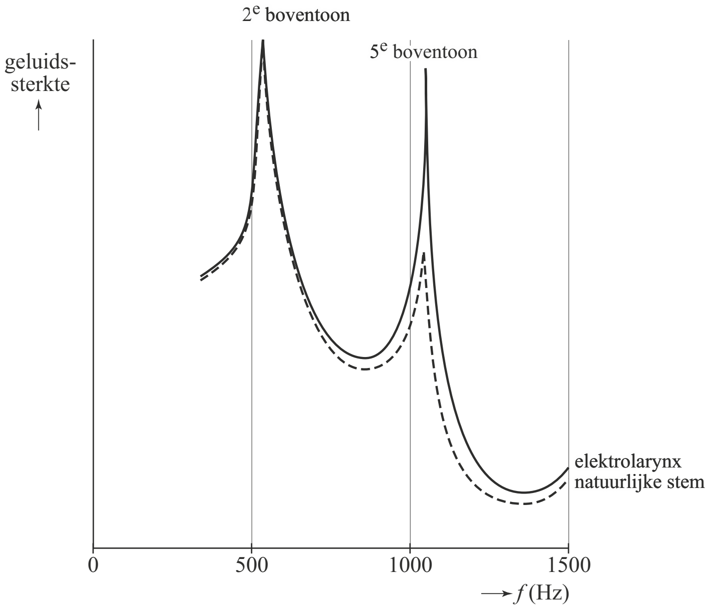


uitwerkbijlage bij vraag 26

grootheid	neemt toe	blijft gelijk	neemt af
trillingstijd			
voortplantingssnelheid			
golflengte			

Het geluid van een elektrolarynx klinkt niet altijd zo natuurlijk als het geluid van stembanden.
In figuur 5 staan de frequentiekarakteristieken van de natuurlijke stem van een persoon en van dezelfde persoon die een elektrolarynx gebruikt.

figuur 5



2p **27** Omcirkel in elke zin op de uitwerkbijlage telkens het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 27

– De frequentie van de 5e boventoon is met de elektrolarynx **hoger dan / lager dan / even hoog als** de frequentie van de natuurlijke stem.

– De geluidssterkte van de 5e boventoon is met de elektrolarynx **groter dan / kleiner dan / even groot als** de geluidssterkte van de natuurlijke stem.

Hints bij examen 2018-II

1 Welke meter moet in serie geschakeld worden en welke parallel?
2 Lees eerst de lichtintensiteit af in figuur 4.
3 Bereken de warmteproductie van de LDR met $P = U \cdot I$.
4 Hoe verandert de grootte van de weerstand van de LDR als er licht op valt?
5 Maak gebruik van de hefboomwet.
6 Let op de verschuiving van het zwaartepunt Z_2 naar links.
7 Hoe beweegt het zwaartepunt Z_2 als het pakket van de heftruck schuift?
8 Wat is het verband tussen σ, F en A ?
9 Maak gebruik van $P = F \cdot v$.
10 Bereken de stroomsterkte met $P = U \cdot I$.
11 In welke richting trekt de zon aan de komeet?
12 Zie Binas 35C1.
13 Zie voor de gemiddelde snelheid: Binas 35A1.
14 Er geldt: $F_{mpz} = F_G$.
15 Maak gebruik van de wet van Wien.
16 Hoe luidt de formule voor de kinetische energie?
17 Zie voor de gravitatieconstante: Binas 7A.
18 Is er verschil in de atoommassa's of in de atoomnummers?
19 Teken in $t = 0$ een raaklijn.
20 Wat moet links en rechts van de pijl gelijk zijn?
21 Van welke deeltjes is de energie het grootst?
22 Maak gebruik van de weegfactor voor β-straling.
23 Wat is het verband tussen v, f en λ ?
24 Zie voor de formule van een massa-veersysteem: Binas 35B1.
25 Bij de tweede boventoon hoort $n = 3$.
26 Zie voor de geluidssnelheid in spieren: Binas 15A.
27 De getrokken lijn in figuur 5 hoort bij de elektrolarynx.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2018-II

Magische lamp

1p **1** Schakeling D.
Alleen in schakeling D staat de ampèremeter in serie met de LDR en de voltmeter parallel aan de LDR.

2p **2** In figuur 4 lezen we af: als de LDR een weerstand heeft van 40 Ω, dan meet Amy een lichtintensiteit van 2,4 W m^{-2}. [1p]
In figuur 3 lezen we af: het lampje levert een lichtintensiteit van 2,4 W m^{-2} op een afstand van 2,0 cm.
Het lampje heeft dus op 2,0 cm hoogte boven de LDR gehangen. [1p]

4p **3** We berekenen de geproduceerde warmte per seconde P_{LDR} van de LDR met:
$P_{LDR} = U_{LDR} \cdot I$ [1p] (Binas 35D1), waarin:
U_{LDR} = spanning over de LDR
Er geldt: $U_{bron} = U_{lamp} + U_{LDR}$ (Binas 35D1, serieschakeling) ⇒
⇒ $U_{LDR} = U_{bron} - U_{lamp}$ [1p], met:
U_{bron} = spanning van de spanningsbron = 3,6 V
U_{lamp} = spanning over de lamp = 1,9 V
zodat: U_{LDR} = 3,6 – 1,9 = 1,7 V
I = stroomsterkte in de serieschakeling
Uit $U_{LDR} = I \cdot R_{LDR}$ [1p] (Binas 35D1) volgt: $I = \frac{U_{LDR}}{R_{LDR}}$, met:
U_{LDR} = 1,7 V
R_{LDR} = weerstand van de LDR = 40 Ω
zodat: $I = \frac{1{,}7}{40} = 0{,}0425$ A
Invullen: P_{LDR} = 1,7 · 0,0425 = 0,072 W = 72 mW
Dit is minder dan de maximale warmteproductie van 200 mW.
De LDR blijft dus heel als het lampje normaal brandt. [1p]

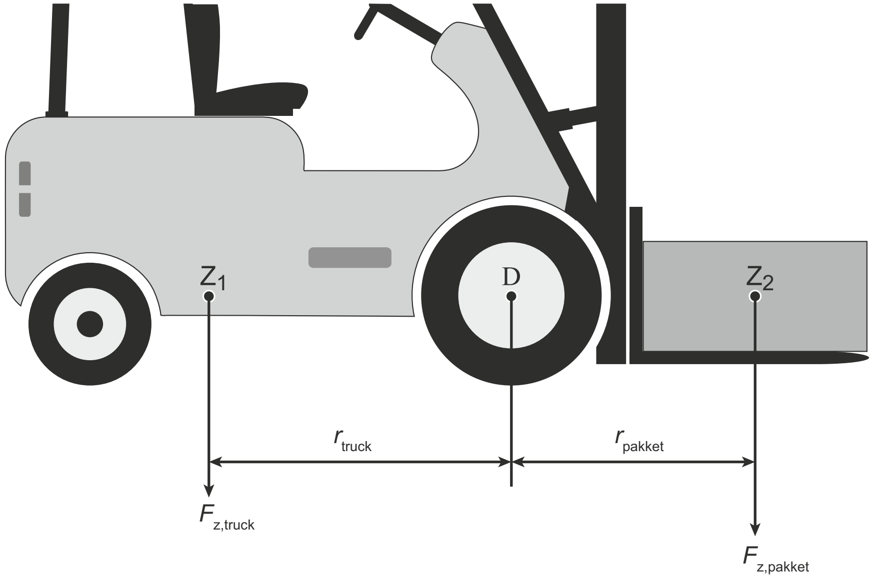
4p **4**
- Zolang er geen licht op de LDR valt, is de weerstand R_{LDR} heel groot [1p] (zie figuur 4). De stroomsterkte I in de serieschakeling is dan te klein om het lampje te laten branden ($U_{bron} = I \cdot R_{totaal} \Rightarrow I = \frac{U_{bron}}{R_{totaal}}$, Binas 35D1). [1p]
  Zodra er licht van de brandende lucifer op de LDR valt, wordt R_{LDR} snel kleiner ⇒ ⇒ de stroomsterkte I zal dan toenemen ⇒ het lampje zal gaan branden.
- Behalve de brandende lucifer zorgt het lampje nu ook voor lichtinval op de LDR ⇒ ⇒ als de lucifer weggehaald wordt, zorgt het licht van het lampje dat R_{LDR} klein blijft en I dus groot ⇒ het lampje blijft branden. [1p]
- Zodra het lampje opzij wordt geblazen, valt er geen of minder licht op de LDR ⇒ de weerstand R_{LDR} neemt weer toe ⇒ de stroomsterkte I neemt weer af ⇒ het lampje gaat weer uit. [1p]

Ook is goed:
- *Als er licht van de brandende lucifer op de LDR valt, neemt R_{LDR} af ⇒ de spanning over de LDR neemt af ⇒ de spanning over het lampje neemt toe ⇒ lampje gaat branden.*
- *Zolang het lampje brandt, valt er licht op de LDR en blijft de waarde van R_{LDR} klein ⇒ de spanning over het lampje blijft hoog ⇒ het lampje blijft branden.*
- *Als het lampje opzij wordt geblazen, zal er geen of maar weinig licht meer op de LDR vallen ⇒ R_{LDR} wordt weer groot ⇒ de spanning over R_{LDR} wordt weer groot ⇒ de spanning over het lampje wordt weer klein ⇒ het lampje gaat uit.*

©ThiemeMeulenhoff

Heftruck

3p **5** Zie de tekening.



De maximale massa van het pakket m_{pakket} waarbij de heftruck net niet kantelt, bepalen we met:
$F_{z,truck} \cdot r_{truck} = F_{z,pakket} \cdot r_{pakket}$ [1p] (Binas 35A7) ⇒
⇒ $m_{truck} \cdot g \cdot r_{truck} = m_{pakket} \cdot g \cdot r_{pakket}$ (Binas 35A3) ⇒
⇒ $m_{truck} \cdot r_{truck} = m_{pakket} \cdot r_{pakket}$, waarin:
$F_{z,truck}$ = zwaartekracht op de heftruck
r_{truck} = arm van $F_{z,truck}$ ten opzichte van draaipunt D = 4,0 cm (opgemeten in de tekening)
$F_{z,pakket}$ = zwaartekracht op het pakket
r_{pakket} = arm van $F_{z,pakket}$ ten opzichte van draaipunt D = 3,2 cm [1p] (opgemeten in de tekening)
m_{truck} = massa van de truck = 3,4 ton = 3,4 · 10^3 kg (Binas 5)
g = valversnelling

Invullen: $3{,}4 \cdot 10^3 \cdot 4{,}0 = m_{pakket} \cdot 3{,}2 \Rightarrow m_{pakket} = \frac{3{,}4 \cdot 10^3 \cdot 4{,}0}{3{,}2} = 4{,}3 \cdot 10^3$ kg [1p]

1p **6** De juiste reden is A.
Het zwaartepunt Z_2 van het pakket verschuift wat naar links door het schuin zetten van de lift. De arm van de zwaartekracht r_{pakket} wordt daardoor kleiner.

1p **7** Bij de stand van de lift in figuur 3 hoeft het pakket bij het remmen alleen maar horizontaal naar voren te schuiven om van de lift af te vallen.
Bij de stand van de lift in figuur 4 zal het pakket bij het remmen ook nog wat omhoog moeten schuiven, voordat het van de lift zal vallen.
Bij de stand van de lift in figuur 3 zal het pakket tijdens remmen dus eerder van de lift afschuiven dan bij de stand in figuur 4.

©ThiemeMeulenhoff

5p **8** De maximale (span)kracht F_{span} die de kettingen samen kunnen uitoefenen zonder blijvend te vervormen bepalen we met:

$\sigma_{max} = \frac{F_{span}}{A}$ [1p] (Binas 35A6) $\Rightarrow F_{span} = \sigma_{max} \cdot A$, waarin:

σ_{max} = maximale treksterkte waarbij er nog geen vervorming zal optreden = $= 275 \cdot 10^6$ N m^{-2} [1p]
(afgelezen in het spanning-rekdiagram van de uitwerkbijlage)

A = doorsnede van de kettingen ter hoogte van het zwakste deel
Er geldt: $A = 4 \cdot (dikte \cdot breedte)$ [1p], met
dikte = 4,0 mm = $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ m (afgelezen in uitwerkbijlage bij vooraanzicht)
breedte = 11,0 mm = $11{,}0 \cdot 10^{-3}$ m (afgelezen in uitwerkbijlage bij zijaanzicht)
zodat: $A = 4 \cdot (4{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 11{,}0 \cdot 10^{-3}) = 1{,}76 \cdot 10^{-4}$ m^2 [1p]

Invullen: $F_{span} = 275 \cdot 10^6 \cdot 1{,}76 \cdot 10^{-4} = 4{,}8 \cdot 10^4$ N [1p]

3p **9** *methode 1*
Het rendement η van de lift volgt uit: $\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}}$ [1p] $= \frac{F_z \cdot v}{P_{in}}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

P_{nuttig} = nuttig gebruikte vermogen
P_{in} = elektrische vermogen van de lift = 11 kW = $11 \cdot 10^3$ W
F_z = zwaartekracht op één pakket = $m \cdot g$ (Binas 35A3), met:
m = massa van één pakket = $2{,}0 \cdot 10^3$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F_z = 2{,}0 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 = 1{,}96 \cdot 10^4$ N
v = tilsnelheid = 0,44 m s^{-1}

Invullen: $\eta = \frac{1{,}96 \cdot 10^4 \cdot 0{,}44}{11 \cdot 10^3} = 0{,}78$ [1p] (ofwel 78%)

methode 2
Het rendement η van de lift kan ook berekend worden met:

$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}}$ [1p] $= \frac{m \cdot g \cdot h}{P_{in} \cdot t}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

E_{nuttig} = nuttig gebruikte energie
E_{in} = door de lift geleverde energie
m = massa van één pakket = $2{,}0 \cdot 10^3$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
h = tilhoogte van één pakket = $v \cdot t$ (Binas 35A1), met:
v = tilsnelheid = 0,44 m s^{-1}
t = tijdsduur = 7,0 s
zodat: $h = 0{,}44 \cdot 7{,}0 = 3{,}08$ m
P_{in} = elektrisch vermogen van de lift = 11 kW = $11 \cdot 10^3$ W
t = tijdsduur = 7,0 s

Invullen: $\eta = \frac{2{,}0 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}08}{11 \cdot 10^3 \cdot 7{,}0} = 0{,}78$ [1p] (ofwel 78%)

3p **10** *methode 1*
We berekenen de tijd t_{accu} die de accu de lift kan laten werken met:

$t_{accu} = \frac{400 \text{ (Ah)}}{I}$ [1p], waarin:

I = stroomsterkte
Er geldt: $P = U \cdot I$ [1p] $\Rightarrow I = \frac{P}{U}$ (Binas 35D1), met:
P = vermogen = 11 kW = $11 \cdot 10^3$ W
U = spanning = 48 V
zodat: $I = \frac{11 \cdot 10^3}{48} = 229$ A

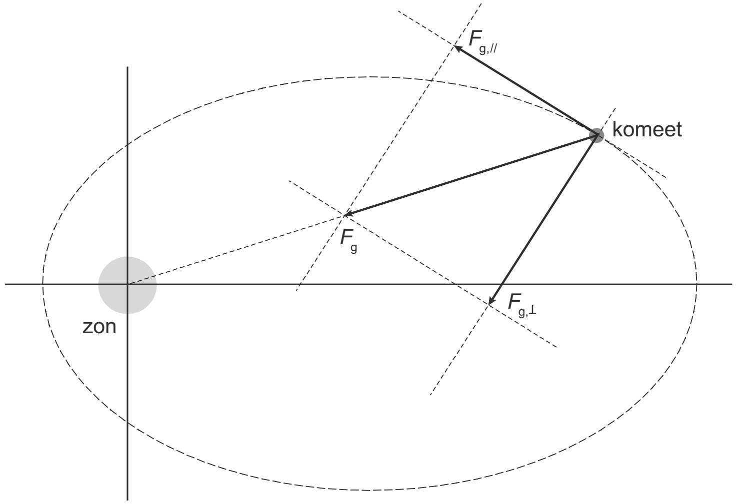
Invullen: $t_{accu} = \frac{400 \text{ (Ah)}}{229 \text{ (A)}} = 1{,}7$ h [1p]

methode 2
De tijd t_{accu} die de accu de lift kan laten werken, kunnen we ook berekenen met:
$t_{accu} = N_{pakket} \cdot t_1$, waarin:
N_{pakket} = totaal aantal pakketten dat de lift op één acculading kan liften
Er geldt: $N_{pakket} = \frac{E_{totaal}}{E_1}$ [1p], met:
E_{totaal} = maximale energie door de accu te leveren = $= P \cdot t = U \cdot (I \cdot t)$ [1p] (Binas 35D1), met:
P = vermogen
t = tijd
U = spanning = 48 V
$(I \cdot t)$ = capaciteit van de accu = 400 A h = $400 \cdot 3600$ A s = $= 1{,}44 \cdot 10^6$ A s
zodat: $E_{totaal} = 48 \cdot 1{,}44 \cdot 10^6 = 6{,}91 \cdot 10^7$ J
E_1 = benodigde energie voor liften van één pakket = $= P \cdot t_1$ (Binas 35D1), met:
P = vermogen = 11 kW = $11 \cdot 10^3$ W
t_1 = tijd nodig voor het liften van één pakket = 7,0 s
zodat: $E_1 = 11 \cdot 10^3 \cdot 7{,}0 = 7{,}70 \cdot 10^4$ J
zodat: $N_{pakket} = \frac{6{,}91 \cdot 10^7}{7{,}70 \cdot 10^4} = 897$
t_1 = 7,0 s

Invullen: $t_{accu} = 897 \cdot 7{,}0 = 6279 \text{ s} = \frac{6279}{3600} \text{ h} = 1{,}7$ h [1p]

Rosetta

4p **11** Zie de tekening (de ingevulde uitwerkbijlage).



– *Teken de gravitatiekracht F_g op de komeet met een pijl ter lengte van 3,5 cm vanuit het middelpunt van de komeet richting het middelpunt van de zon.* [1p]
– *Teken ter hoogte van de komeet de raaklijn aan de baan.*
Ontbind F_g in een component $F_{g,//}$ evenwijdig aan de baan en een component $F_{g,\perp}$ loodrecht op de baan. [1p]

– Uit de tekening valt af te lezen dat de kracht $F_{g,//}$ in de richting van de snelheid werkt. De snelheid van de komeet zal daardoor op dit punt toenemen [1p] ⇒
⇒ de grootte van de snelheid van de komeet zal op dit punt dus veranderen. [1p]

1p **12** antwoord B.

Er geldt: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho}$ *(Binas 35C1) ⇒ V zal de grootste waarde hebben bij de grootste waarde van m en de kleinste waarde van ρ.*

3p **13** De gemiddelde snelheid v_{gem} berekenen we met: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ [1p] (Binas 35A1), waarin:

Δx = afgelegde weg = 6,5 miljard km = $6{,}5 \cdot 10^9$ km (Binas 2)
Δt = duur van de reis = 10 y = $10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$ s = $3{,}15 \cdot 10^8$ s [1p]

Invullen: $v_{gem} = \frac{6{,}5 \cdot 10^9}{3{,}15 \cdot 10^8} = 21$ km s^{-1} [1p]
Ook goed: $\Delta t = 10\ y = 10 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7\ s$ *(Binas 5)* $= 3{,}15 \cdot 10^8\ s$

4p **14** De baansnelheid v van Rosetta volgt uit:

$F_{mpz} = F_g$ [1p] $\Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r}$ [1p] $= \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2}$ [1p] (Binas 35A2 en 35A5) ⇒

$\Rightarrow v^2 = \frac{G \cdot M}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, waarin:

F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht op de komeet
F_g = gravitatiekracht
m = massa van de ruimtesonde Rosetta
r = straal van de baan van Rosetta = $20 \cdot 10^3$ m
G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
M = massa van de komeet = $1{,}0 \cdot 10^{13}$ kg

Invullen: $v = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{13}}{20 \cdot 10^3}} = \sqrt{0{,}0334} = 0{,}18$ m s^{-1} [1p]

3p **15** De temperatuur T van de komeet berekenen we met:

$\lambda_{max} \cdot T = k_W$ [1p] $\Rightarrow T = \frac{k_W}{\lambda_{max}}$ (Binas 35E1), waarin:

λ_{max} = golflengte van de straling met de hoogste intensiteit = $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ m
k_W = constante van Wien = $2{,}90 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)

Invullen: $T = \frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{1{,}6 \cdot 10^{-5}} = 181$ K [1p]
Dit komt overeen met een temperatuur van (181 – 273) °C (Binas 7A) = –92 °C. [1p]

3p **16** Het percentage van de kinetische energie van Philae dat na de landing nog over is, volgt uit: *percentage* $= \frac{E_{k,na}}{E_{k,voor}} \cdot 100\%$ [1p] $= \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{na}^2}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{voor}^2} \cdot 100\%$ [1p] (Binas 35A4) ⇒

⇒ *percentage* $= \frac{v_{na}^2}{v_{voor}^2} \cdot 100\%$, waarin:

$E_{k,na}$ = kinetische energie van Philae na de landing
$E_{k,voor}$ = kinetische energie van Philae voor de landing
m = massa van Philae
v_{na} = snelheid van Philae na de landing = 0,38 m s^{-1}
v_{voor} = snelheid van Philae voor de landing = 1,1 m s^{-1}

Invullen: *percentage* $= \frac{0{,}38^2}{1{,}1^2} \cdot 100\% = 12\%$ [1p]

3p **17** We berekenen de minimale snelheid v_{min} die Philae nodig had om van de komeet te kunnen ontsnappen met: $v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$, waarin:

G = gravitatieconstante = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} (Binas 7A)
M = massa van de komeet = $1{,}0 \cdot 10^{13}$ kg
R = straal van de komeet = 2,9 km = $2{,}9 \cdot 10^3$ m

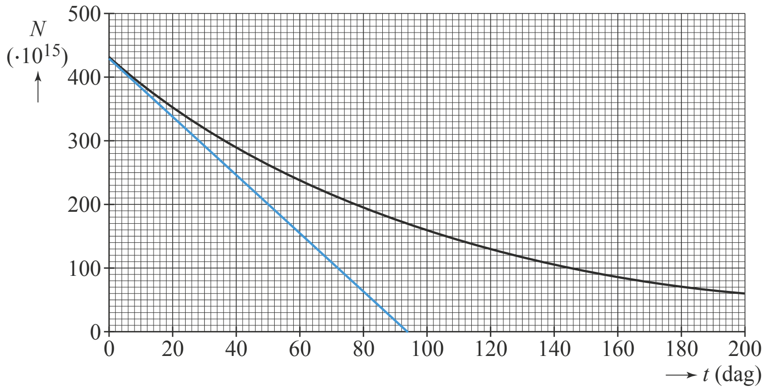
Invullen: $v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{13}}{2{,}9 \cdot 10^3}} = 0{,}68$ m s^{-1} [1p]

Philae had na het opstuiteren een snelheid van 0,38 m s^{-1}. Dit is minder dan de benodigde ontsnappingssnelheid van 0,68 m s^{-1}. [1p]
Philae zal dus teruggevallen zijn op de komeet. [1p]

Renium-188

1p **18** Antwoord B is juist.
W-186 en W-188 hebben hetzelfde atoomnummer ⇒ ze hebben evenveel protonen in de kern en ook evenveel elektronen in het atoom.
De massagetallen van W-186 en W-188 hebben echter een verschil van twee ⇒ het W-188 atoom heeft 2 neutronen meer in de kern dan het W-186 atoom.

3p **19** Zie de tekening.



De activiteit $A(0)$ van het wolfraam op $t = 0$ s is gelijk aan de helling van de raaklijn in het (N,t)-diagram op tijdstip $t = 0$ s [1p] ⇒ $A(0) = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{raaklijn}$ [1p] (Binas 35E3), waarin:

ΔN = afname van het aantal W-188 kernen langs de raaklijn = $(0 - 430 \cdot 10^{15})$ = $= -430 \cdot 10^{15}$
Δt = tijdsduur van de afname = 94 dag = $94 \cdot 24 \cdot 3600$ s = $8{,}12 \cdot 10^6$ s

Invullen: $A(0) = -\left(\frac{-430 \cdot 10^{15}}{8{,}12 \cdot 10^6}\right) = 5{,}3 \cdot 10^{10}$ Bq [1p]

3p **20** $^{188}_{75}\text{Re} \rightarrow\ ^{188}_{76}\text{Os} +\ ^{0}_{-1}\text{e} +\ ^{0}_{0}\gamma$

- *Re-188 heeft atoomgetal 75 (Binas 25A, 40A of 99)*
- *Er komt β-straling (elektron) vrij ⇒ rechts van de → komt $^{0}_{-1}e$ te staan*
- *Er komt ook γ-straling vrij ⇒ $^{0}_{0}\gamma$ komt rechts van de → te staan* [1p]
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn ⇒ ⇒ 75 = –1 + 0 + 76 ⇒ het vervalproduct heeft atoomnummer 76 ⇒ ⇒ er ontstaat osmium (Os)* [1p] *(Binas 25A, 40A of 99)*
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn* [1p] ⇒ *⇒ 188 = 188 + 0 + 0 ⇒ het vervalproduct heeft massagetal 188: $^{188}_{76}Os$*

3p **21** In de tabel van figuur 2 lezen we af dat de energie van de β-deeltjes aanzienlijk groter is dan de energie van de γ-fotonen. [1p]
Tevens zal de energie van de β-deeltjes veel beter geabsorbeerd worden dan de energie van de γ-fotonen, vanwege het feit dat β-deeltjes een klein doordringend vermogen hebben [1p] (γ-fotonen hebben juist een groot doordringend vermogen).
De β-straling levert dus de grootste bijdrage aan de behandeling van de bottumor. [1p]

3p **22** De equivalente dosis H die de patiënt als gevolg van de β-straling zal ontvangen, volgt uit: $H = w_R \cdot D$ (Binas 35E3), waarin:
w_R = weegfactor voor β-straling = 1 [1p] (Binas 27D3)
D = stralingsdosis = 120 · 0,070 mGy = 120 · 0,070 · 10^{-3} Gy = 8,4 · 10^{-3} Gy [1p]
Invullen: $H = 1 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-3} = 8{,}4 \cdot 10^{-3}$ Sv [1p] (= 8,4 mSv)

Elektrolarynx

3p **23** We bepalen de golfsnelheid v in de stembanden met: $v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B2), waarin:
f = frequentie van de trilling = $\frac{1}{T}$ [1p] (Binas 35B1), met:
T = trillingstijd = 8,4 · 10^{-3} s [1p] (afgelezen in de uitwerkbijlage)
zodat: $f = \frac{1}{8{,}4 \cdot 10^{-3}} = 119$ Hz
λ = golflengte van de trilling = 22 mm = 22 · 10^{-3} m
Invullen: $v = 119 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 2{,}6$ m s^{-1} [1p]

2p **24** De formule voor een massa-veersysteem luidt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1), waarin:
T = trillingstijd = $\frac{1}{f}$ (Binas 35B1), met f = frequentie
m = massa van de stembanden
C = veerconstante = constant
Als m toeneemt bij constante C, zal T toenemen. [1p] De frequentie f zal dan afnemen. [1p]

3p **25** De frequentie f_0 van de grondtoon bepalen we met: $\frac{n_0}{f_0} = c = \frac{n_2}{f_2}$ [1p], waarin:
n_0 = 1 voor de grondtoon
n_2 = 3 voor de tweede boventoon
f_2 = frequentie van de tweede boventoon = 540 Hz [1p] (afgelezen in figuur 3)
Invullen: $\frac{1}{f_0} = \frac{3}{540} \Rightarrow f_0 = \frac{540}{3} = 180$ Hz [1p]

3p **26**

grootheid	neemt toe	blijft gelijk	neemt af
trillingstijd		X	
voortplantingssnelheid			X
golflengte			X

– *De frequentie van deze trillingen blijft gelijk, dus de trillingstijd $T = \frac{1}{f}$ blijft ook gelijk.* [1p]

– *De voortplantingssnelheid van geluid in huid v_{huid} = 1,73 · 10^3 m s^{-1}*
De voortplantingssnelheid van geluid in spieren v_{spier} heeft een waarde tussen 1,53 · 10^3 en 1,63 · 10^3 m s^{-1} in (Binas 15A). Bij de overgang van deze trillingen van huid naar spier neemt de voortplantingssnelheid dus af. [1p]

– *$v = f \cdot \lambda$ (Binas 35B1) ⇒ $f = \frac{v}{\lambda}$ ⇒ als v afneemt bij de overgang van huid naar spieren, moet λ dus ook afnemen.* [1p]

2p **27** - De frequentie van de 5e boventoon is met de elektrolarynx **hoger dan / lager dan / even hoog als** (omcirkeld: even hoog als) de frequentie van de natuurlijke stem. [1p]

- De geluidssterkte van de 5e boventoon is met de elektrolarynx **groter dan / kleiner dan / even groot als** (omcirkeld: groter dan) de geluidssterkte van de natuurlijke stem. [1p]

– *De piek van de 5e boventoon bij de natuurlijke stem en de piek van de 5e boventoon bij de elektrolarynx hebben dezelfde frequentie (afgelezen in figuur 5).*
– *De piek van de 5e boventoon bij de elektrolarynx ligt bij een hogere geluidssterkte dan de piek bij de natuurlijke stem (afgelezen in figuur 5).*

Examen 2019-I

Walstroom

De Nederlandse marine heeft een artikel uitgebracht over de energievoorziening van marineschepen. In dit artikel wordt de vergelijking gemaakt tussen het elektrisch energieverbruik van een marineschip en dat van huishoudens. Zie figuur 1. Eén huishouden gebruikt per jaar gemiddeld $3{,}5 \cdot 10^3$ kWh.

figuur 1

Uit deze gegevens volgt dat het elektrisch vermogen van het marineschip $1{,}2 \cdot 10^6$ W is.

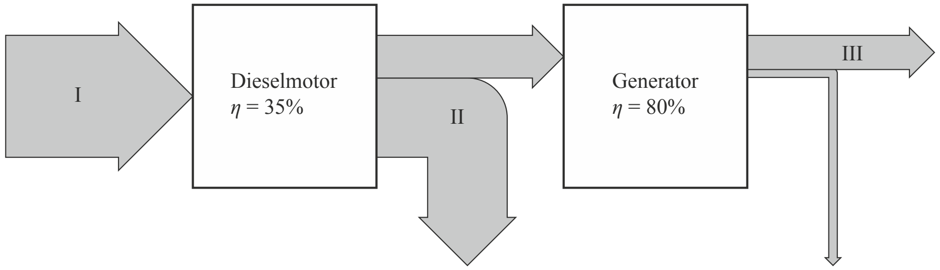
3p **1** Toon dat aan met een berekening.

Op het marineschip wordt elektriciteit opgewekt met een dieselmotor. Deze motor verbrandt stookolie en drijft een generator aan.
Het rendement van de dieselmotor is 35%. Het rendement van de generator is 80%.
In de uitwerkbijlage is dit met pijlen op schaal weergegeven.

Iedere pijl staat voor een bepaalde soort energie.

2p **2** Omcirkel in de tabel op de uitwerkbijlage de juiste energiesoort bij de gegeven pijlen I, II en III.

uitwerkbijlage bij vraag 2



pijl I	kinetische energie	chemische energie	elektrische energie	warmte	zwaarte-energie
pijl II	kinetische energie	chemische energie	elektrische energie	warmte	zwaarte-energie
pijl III	kinetische energie	chemische energie	elektrische energie	warmte	zwaarte-energie

De generator van het schip wekt een elektrisch vermogen op van $1{,}2 \cdot 10^6$ W.

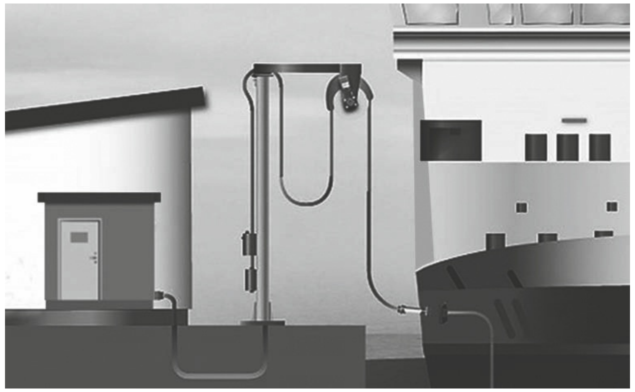
5p **3** Bereken het volume van de stookolie in m^3 dat het schip per 24 uur gebruikt om elektriciteit op te wekken.

In de haven kan een schip aangesloten worden op de elektriciteit aan land, de zogenaamde walstroom. De dieselmotor hoeft dan niet te draaien. Voor een marineschip worden 36 identieke kabels parallel aangesloten tussen land en schip. Er wordt een spanning gebruikt van 440 V om $1{,}2 \cdot 10^6$ W aan elektrisch vermogen te leveren.

3p **4** Bereken de stroomsterkte door één van de 36 kabels.

De Nederlandse marine gebruikt tegenwoordig een nieuwe methode om schepen aan te sluiten op het elektriciteitsnet in de haven. Ze gebruiken daarbij een spanning van 6,6 kV en nog maar één hoogspanningskabel. Deze kabel vervangt alle 36 kabels die eerst nodig waren. Zie figuur 2.

figuur 2



De hoogspanningskabel is 13 m lang. De kabel is gemaakt van koper. De kabel heeft een doorsnede met een oppervlakte van 25 cm^2.

3p **5** Bereken de weerstand van de hoogspanningskabel.

De nieuwe methode van aansluiten heeft veel voordelen. Het schip kan door minder mensen in kortere tijd aangesloten worden op het elektriciteitsnet aan wal. Voor de nieuwe kabel is veel minder koper nodig dan voor de 36 oorspronkelijke kabels. Bovendien is het energieverlies in de kabel lager.
De dunnere hoogspanningskabel is even lang, maar heeft een veel grotere weerstand dan de oorspronkelijke 36 kabels parallel samen. Het elektrisch vermogen van het schip is gelijk gebleven.

2p **6** Omcirkel op de uitwerkbijlage in elke zin het juiste alternatief.

uitwerkbijlage bij vraag 6

De geleidbaarheid van de 6,6 kV kabel is

veel groter dan / ongeveer even groot als / veel kleiner dan de

geleidbaarheid van de 36 oude 440 V kabels samen.

De stroomsterkte door de 6,6 kV kabel is

veel groter dan / ongeveer even groot als / veel kleiner dan de

stroomsterkte door de 36 oude 440 V kabels samen.

Wereldrecord blobspringen

In juni 2011 werd het wereldrecord blobspringen verbeterd door Reto Zimmerli. Zie de fotomontage in figuur 1. Voor deze afbeelding zijn diverse na elkaar gemaakte foto's van de recordpoging samengevoegd tot één beeld. Zes van deze foto's zijn ook apart weergegeven op de uitwerkbijlage. Links sprong een groep van drie personen tegelijk van een hoge toren. Ze landden op het uiteinde van een met lucht gevulde zak op het water, de blob. Hierdoor werd Zimmerli, die diep weggezakt in het andere uiteinde van de blob lag te wachten, de lucht in geschoten.

figuur 1

Van de beweging van de deelnemers aan deze recordpoging is met behulp van een videometing een (h,t)-diagram gemaakt. Zie de uitwerkbijlage. De hoogte is gemeten ten opzichte van het wateroppervlak.

Tijdens de val ondervindt de groep van drie personen weerstand. De drie personen die op de blob vallen, raken de blob op t = 1,27 s.

3p **7** Bepaal, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage, de snelheid waarmee de groep de blob raakt. Geef in deze figuur aan hoe je aan je antwoord komt.

uitwerkbijlage bij vraag 7

1 De groep springt van de duikplank.

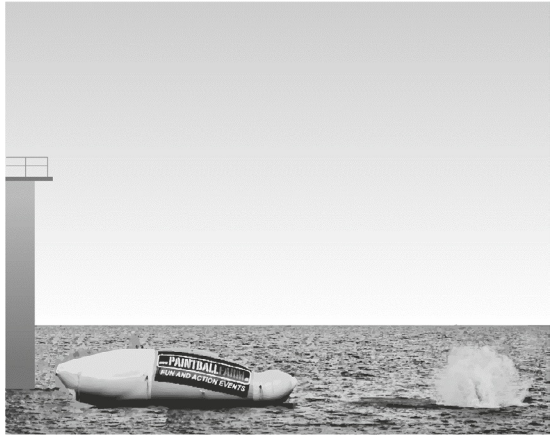
2 De groep landt links op de blob.

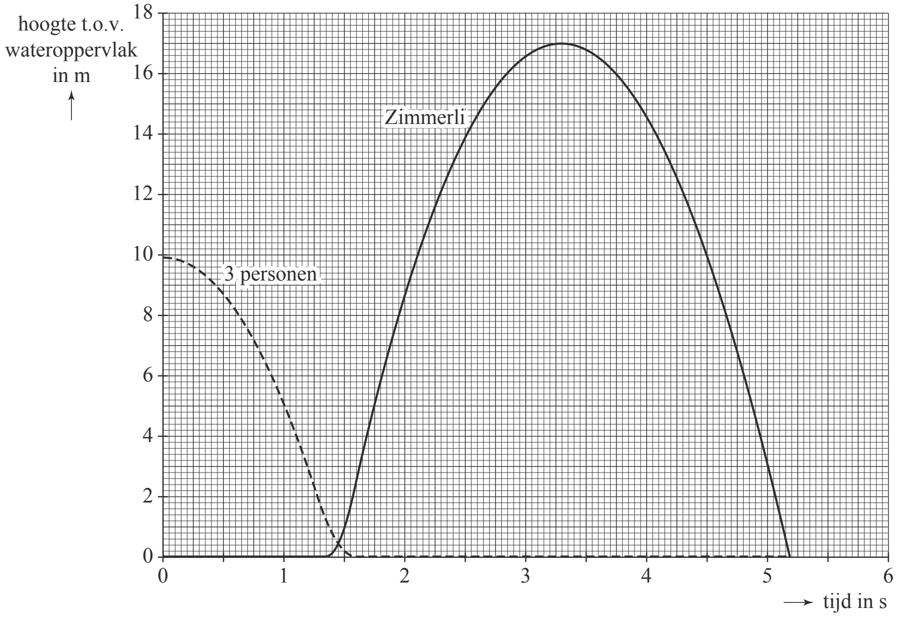
3 Zimmerli is rechts door de blob gelanceerd.

4 Zimmerli bereikt het hoogste punt.

5 Zimmerli valt richting het water.

6 Zimmerli raakt het water.





Als de drie personen op t = 1,27 s de blob raken, begint er in de blob een drukgolf te bewegen van de groep naar Zimmerli.
Op t = 1,34 s komt de drukgolf bij Zimmerli aan.

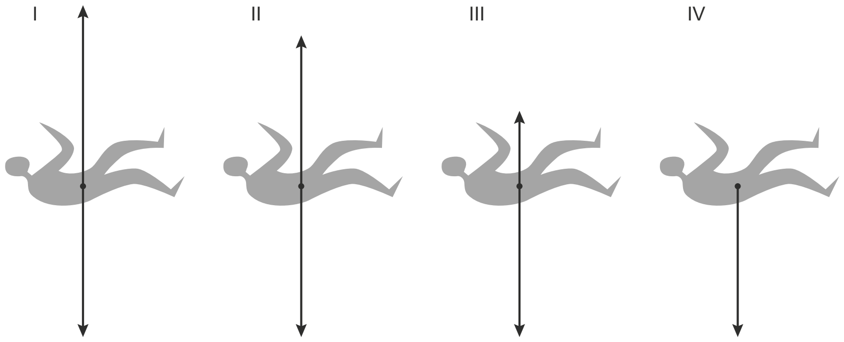
3p **8** Toon aan of de snelheid waarmee die drukgolf beweegt gelijk is aan de geluidssnelheid in lucht. Maak daarvoor eerst een beredeneerde schatting van de afstand waarover de drukgolf reist. Gebruik hierbij figuur 1.

Uit de videometing volgt dat Zimmerli tijdens de lancering door de blob een gemiddelde versnelling omhoog heeft ondergaan van $1{,}78 \cdot 10^2$ m s^{-2}. Zimmerli heeft een massa van 80 kg.

3p **9** Bereken de gemiddelde kracht omhoog die de blob tijdens de lancering op Zimmerli heeft uitgeoefend.

Foto 3 op de uitwerkbijlage toont Zimmerli op weg naar het hoogste punt.

1p **10** Geef aan in welke van de onderstaande tekeningen I, II, III of IV de krachtvector of de krachtvectoren op Zimmerli in verticale richting op dat moment juist is of zijn weergeven.



De groep van drie personen met een gezamenlijke massa van 300 kg viel over een afstand van 9,9 m omlaag. Zimmerli heeft een massa van 80 kg.

3p **11** Bereken de hoogte die Zimmerli maximaal had kunnen bereiken als alle energieverliezen verwaarloosd mogen worden.

De luchtweerstand is niet verwaarloosbaar, waardoor Zimmerli bij deze recordpoging minder hoog kwam dan de maximale hoogte die hij zou kunnen bereiken. Op de uitwerkbijlage staan nog drie mogelijke verklaringen voor het niet bereiken van de maximale hoogte.

2p **12** Geef op de uitwerkbijlage van elke verklaring aan of deze juist of onjuist is.

uitwerkbijlage bij vraag 12

mogelijke verklaringen	juist	onjuist
De blob neemt energie op.		
De zwaartekracht remt Zimmerli af.		
Zimmerli schiet schuin omhoog weg.		

Kookstenen

In de prehistorie kookten mensen water met behulp van kookstenen. Deze stenen werden in hete as opgewarmd en daarna in een eikenhouten pot met koud water gedaan. Na enige tijd begon het water te koken. Zie figuur 1.

figuur 1

Archeologen van de Universiteit Leiden experimenteerden met deze methode. De stenen die zij gebruikten waren van graniet. Met behulp van een infrarood-thermometer kon de temperatuur van zo'n steen in de as bepaald worden omdat een hete steen infraroodstraling uitzendt. Zie figuur 2.

figuur 2

De temperatuur van de steen is 384 °C.

3p **13** Bereken de golflengte van de straling die het meest door de steen wordt uitgezonden.

Van de materialen die in deze opgave een rol spelen, staan een aantal stofeigenschappen in de tabel in figuur 3.

figuur 3

	dichtheid	warmtegeleidings-coëfficiënt	soortelijke warmte
	10^3 kg m^{-3}	W m^{-1} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}
graniet	2,7	3,5	0,82
basalt	3,0	1	0,88
eikenhout	0,78	0,4	2,4

De steen van graniet heeft een massa van 2,3 kg en een begintemperatuur van 384 °C. De steen koelt af in het water. Door de vrijgekomen energie wordt het water verwarmd van 18 °C tot het kookpunt van 100 °C. Verwaarloos het opwarmen van de houten pot en warmteverlies naar de omgeving.

4p **14** Bereken de massa van het water dat met deze steen tot het kookpunt verwarmd kan worden.

Het experiment wordt herhaald onder dezelfde omstandigheden. Nu wordt een kooksteen van basalt gebruikt in plaats van de kooksteen van graniet. De begintemperatuur van beide kookstenen is even hoog.

2p **15** Leg uit of de kooksteen van basalt zwaarder, lichter of precies even zwaar moet zijn als de kooksteen van graniet om dezelfde hoeveelheid water te verwarmen.

De eikenhouten pot met water verliest in werkelijkheid wel warmte aan de omgeving.

De opwarmtijd van een bepaalde hoeveelheid water zal variëren onder verschillende omstandigheden. Op de uitwerkbijlage staat een tabel met vijf verschillende situaties waarin steeds één omstandigheid verschilt. Alle overige omstandigheden blijven gelijk.

3p **16** Geef in de tabel bij iedere gegeven situatie met een kruisje aan of de opwarmtijd langer of korter wordt.

uitwerkbijlage bij vraag 16

situatie	opwarmtijd water wordt langer	opwarmtijd water wordt korter
De kooksteen heeft een groter oppervlak bij gelijke massa.		
De kooksteen heeft een hogere begintemperatuur.		
De houten pot wordt afgedekt met een deksel.		
De houten pot is breder en minder diep. De pot is gevuld met dezelfde hoeveelheid water.		
De bodem waar de houten pot op staat is bevroren.		

De warmtestroom door de wand van de eikenhouten pot is het grootst als het water aan de kook is. De archeologen hebben de oppervlakte van de wand van de pot geschat op $1 \cdot 10^3$ cm^2 en de dikte van de wand op 3 cm. De temperatuur van de buitenlucht is 20 °C.

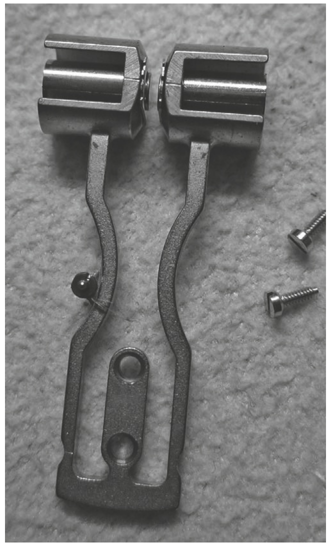
3p **17** Bereken de warmtestroom door de wand van de pot als het water aan de kook is.

Oude horloges

In de jaren ’60 en ’70 kwamen er horloges op de markt waarin nieuwe technische ontwikkelingen werden toegepast. Eén van de ontwikkelingen was gericht op de nauwkeurigheid van de horloges. Horloges werkten tot dan toe mechanisch; de wijzers werden daarbij aangedreven door een veer. Een horlogemaker kwam in 1960 met de ‘Accutron’, het eerste elektronische horloge. Het horloge maakte gebruik van een stemvork. Zie figuren 1 en 2. De harmonische trilling van de stemvork werd gebruikt om de draaisnelheid van de wijzers te regelen.

figuur 1

figuur 2

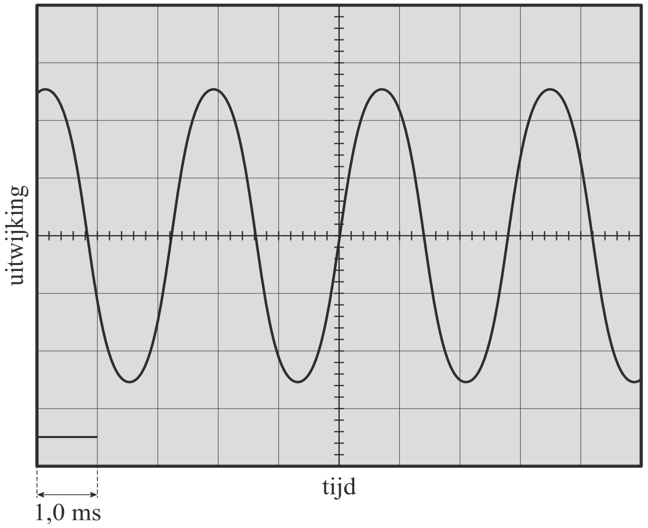


1p **18** Hoe noemt men de frequentie waarmee de stemvork trilt na het aanslaan?

Op de uitwerkbijlage zie je een oscillogram van de stemvork. Hierin is de uitwijking uitgezet tegen de tijd. Eén hokje staat voor 1,0 ms.
De mens hoort frequenties tussen 20 Hz en 20 kHz.

3p **19** Toon met behulp van het oscillogram aan of de toon van de stemvork in het hoorbare gebied ligt.

uitwerkbijlage bij vraag 19



De NASA wilde deze techniek ook gebruiken voor klokken in de ruimtevaart. Een stemvork kun je beschouwen als een massa-veersysteem met een bepaalde veerconstante *C*.
Voor de nauwkeurigheid van de klok is het belangrijk dat de trillingstijd van de stemvork heel constant is.

2p **20** Leg uit of de NASA voor de stemvork in deze klok rekening moest houden met een andere trillingstijd in de ruimte dan op aarde.

Een andere nieuwe ontwikkeling had te maken met de afleesbaarheid van horloges. De wijzers en getallen werden geverfd met een mengsel van promethium-147 en zinksulfide zodat deze oplichtten in het donker. Op de wijzerplaat werd dit aangegeven met een Ⓟ. Zie figuur 3.

figuur 3

Promethium-147 (Pm-147) is een radioactieve stof die alleen β-straling uitzendt.

3p **21** Geef de vergelijking van de vervalreactie van promethium-147.

De wijzers zenden ook röntgenstraling uit. Deze is niet afkomstig van het promethium-147. De behuizing van het horloge is gemaakt van ijzer.
Het ioniserend vermogen van β-straling is groter dan dat van röntgenstraling. Toch blijkt de röntgenstraling voor (de pols van) de drager van het horloge een groter risico dan de β-straling.

2p **22** Leg uit hoe dit komt.

De röntgenstraling heeft een energie van 0,05 MeV per foton. De dikte van het ijzer aan de achterzijde van het horloge is 1,47 mm.

3p **23** Omcirkel in de tabel op de uitwerkbijlage hoeveel procent van de röntgenstraling de achterkant van het horloge doorlaat. Licht je antwoord toe.

uitwerkbijlage bij vraag 23

0 tot 20%
20 tot 40%
40 tot 60%
60 tot 80%
80 tot 100%

Het deel van de pols dat wordt bestraald door de röntgenstraling heeft een massa van 75 gram en ontvangt gedurende een jaar gemiddeld 25 röntgenfotonen per seconde. De stralingsweegfactor voor röntgenstraling is gelijk aan 1. De jaarlijkse dosislimiet voor ledematen bedraagt $50 \cdot 10^{-3}$ Sv.

5p **24** Toon aan of de equivalente dosis als gevolg van het dragen van het horloge onder deze jaarlijkse dosislimiet blijft.

Elysium

In de film ‘Elysium’ uit 2013 is een enorm, ringvormig ruimtestation te zien waarvan de rand bewoond wordt. Zie figuur 1.
In deze opgave worden twee waarnemingen uit de film op natuurkundige juistheid gecontroleerd.

figuur 1

Het ruimtestation ‘Elysium’ draait in een cirkelbaan rond de aarde. Als de hoogte van Elysium boven het aardoppervlak bekend is, is het mogelijk om de baansnelheid van Elysium rond de aarde uit te rekenen.

1p **25** Hoe kun je die baansnelheid uitrekenen?
A door de gravitatiekracht gelijk te stellen aan de middelpuntzoekende kracht
B door de gravitatiekracht gelijk te stellen aan de zwaartekracht
C door de kinetische energie gelijk te stellen aan de zwaarte-energie
D door de som van de krachten gelijk te stellen aan nul

In de film lijkt het erop dat Elysium zich voortdurend boven hetzelfde punt van de aarde bevindt. In dat geval zou Elysium zich in de geostationaire baan moeten bevinden.

Voor de cirkelvormige baan van een object om een planeet geldt:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

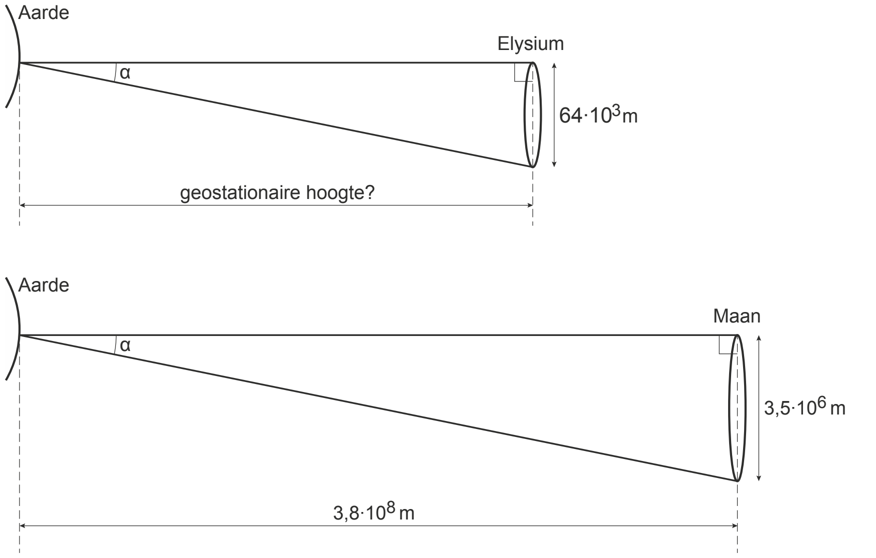
Hierin is:
- r de straal van de cirkelbaan;
- T de omlooptijd;
- G de gravitatieconstante;
- M de massa van de planeet.

De geostationaire baan bevindt zich op een hoogte van $36 \cdot 10^3$ km boven het aardoppervlak.

4p **26** Toon aan dat die baan geostationair is.

Om te controleren of Elysium in de geostationaire baan zit is een andere waarneming uit de film te gebruiken. In de film lijkt Elysium vanaf de aarde gezien even groot als de maan. Dat betekent dat je Elysium en de maan allebei onder dezelfde hoek α vanaf de aarde ziet. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.
De diameter van het ruimtestation is $64 \cdot 10^3$ m. De maan heeft een diameter van $3{,}5 \cdot 10^6$ m.

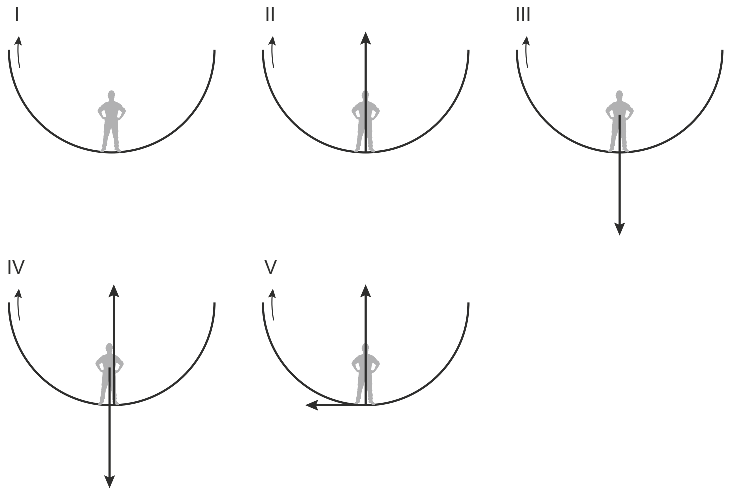
figuur 2



2p **27** Toon met figuur 2 aan of uit deze waarneming volgt dat Elysium zich in de geostationaire baan bevindt.

In een baan om de aarde ervaar je geen normaalkracht; je bent gewichtloos. Elysium draait als een wiel met constante baansnelheid om zijn as S. Zie figuur 1. Een bewoner in de ring ervaart hierdoor wel een normaalkracht waardoor het lijkt alsof hij op het aardoppervlak staat. Deze normaalkracht werkt als middelpuntzoekende kracht.

1p **28** Geef aan in welk plaatje I, II, III, IV of V de kracht of de krachten op de bewoner als gevolg van het draaien van de ring juist is of zijn weergegeven.



In de film ervaart een bewoner van de ring van Elysium dezelfde normaalkracht als hij op het aardoppervlak zou ervaren. Om dat effect te bereiken zou de rand van Elysium met een baansnelheid van $5{,}8 \cdot 10^2$ m s^{-1} om S moeten draaien.
In de film is te zien dat Elysium om zijn eigen as draait. In 3,2 s draait het station over een hoek van 3,0 graden. Na 360 graden draaien heeft Elysium een volledige omwenteling afgelegd. De straal van Elysium is 32 km.

3p **29** Toon met een berekening aan of uit deze waarneming blijkt dat de rand van Elysium met de benodigde $5{,}8 \cdot 10^2$ m s^{-1} draait.

Hints bij examen 2019-I

1 Wat is het verband tussen *P*, *E* en *t*?
2 De horizontaal gerichte pijlen geven de nuttige energie aan.
3 Bereken eerst de energie die de dieselmotor in 24 uur aan de generator moet leveren.
4 Bereken eerst de totale stroomsterkte die door de spanningsbron op de wal wordt geleverd.
5 Wat is het verband tussen *R*, *A*, ℓ en ρ ?
6 Zie Binas 35D1.
7 Hoe vind je in een (*s*,*t*)-diagram de snelheid op een bepaald tijdstip?
8 Met welke afstand komt 1 cm in de foto overeen?
9 Gebruik de tweede wet van Newton.
10 Hoe groot is de kracht die de blob onderweg op Zimmerli uitoefent?
11 Maak gebruik van de wet van behoud van energie.
12 Ga na welke energie-overgangen in alle drie de gevallen plaatsvinden.
13 Gebruik de wet van Wien.
14 Afgegeven warmte = opgenomen warmte.
15 Vergelijk de soortelijke warmte van de twee stoffen met elkaar.
16 Ga voor iedere situatie na hoe de warmtestroom naar het water of van het water naar de omgeving wordt beïnvloed.
17 Voor de warmtestroom: zie Binas 35C4.
18 –
19 Zie Binas 35B1.
20 Waar hangt de trillingstijd van een massa-veersysteem van af?
21 Wat moet links en rechts van $\rightarrow$ gelijk zijn?
22 Wat weet je van het doordringend vermogen van röntgenstraling en β-straling?
23 Zie Binas 28F.
24 Wat is het verband tussen *E*, *D* en *m*?
25 Welke kracht is nodig om een cirkelbaan uit te voeren?
26 Vergelijk de tijd van één rondgang van het object met de tijd dat de aarde om zijn as draait.
27 Als Elysium even groot lijkt als de maan, zijn de twee driehoeken gelijkvormig.
28 Hoeveel krachten werken er op de bewoner?
29 Bereken eerst de tijd van één volledige omwenteling van Elysium.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2019-I

Walstroom

3p **1** Het elektrisch vermogen P van het marineschip volgt uit:

$P = \frac{E}{t}$ [1p] (Binas 35D1), waarin:

E = totale energieverbruik van het marineschip in één jaar =
= 3000 · gemiddeld energieverbruik per jaar van één huishouden [1p] =
= $3000 \cdot 3{,}5 \cdot 10^3$ kWh = $3000 \cdot 3{,}5 \cdot 10^6$ Wh
t = 1,00 y = 365 · 24,0 h

Invullen: $P = \frac{3000 \cdot 3{,}5 \cdot 10^6}{365 \cdot 24{,}0} = 1{,}2 \cdot 10^6$ W [1p]

2p **2** Zie de tabel (uitwerkbijlage bij vraag 2).

pijl I	kinetische energie	**chemische energie**	elektrische energie	warmte	zwaarte-energie
pijl II	kinetische energie	chemische energie	elektrische energie	**warmte**	zwaarte-energie
pijl III	kinetische energie	chemische energie	**elektrische energie**	warmte	zwaarte-energie

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
Pijl I: Stookolie bevat chemische energie die wordt vrijgemaakt bij verbranding.
Pijl II: Het rendement van de dieselmotor is 35%. Het grootste deel van de toegevoerde energie wordt dus omgezet in warmte (en een kleiner deel in kinetische energie).
Pijl III: Het rendement van de generator is 80%, dus het grootste deel van de toegevoerde energie wordt omgezet in elektrische energie (en een kleiner deel in warmte).

5p **3** Het volume V van de stookolie die het schip per 24 uur verbruikt om elektriciteit op te wekken, vind je met:

$E_{st.olie} = r_V \cdot V$ [1p] (Binas 35A4) $\Rightarrow V = \frac{E_{st.olie}}{r_V}$, waarin:

$E_{st.olie}$ = door de verbranding van stookolie geleverde energie in 24 uur

Er geldt: $\eta_1 = \frac{E_m}{E_{st.olie}}$ (Binas 35A4) $\Rightarrow E_{st.olie} = \frac{E_m}{\eta_1}$, met:

η_1 = rendement van de dieselmotor = 0,35 (35%)
E_m = door de dieselmotor geleverde energie in 24 uur

Er geldt: $\eta_2 = \frac{E_{el}}{E_m} = \frac{P_{el} \cdot t}{E_m}$ (Binas 35A4) $\Rightarrow E_m = \frac{P_{el} \cdot t}{\eta_2}$ [1p], met:

P_{el} = door de generator opgewekt elektrisch vermogen = $1{,}2 \cdot 10^6$ W
E_{el} = door de generator geleverde elektrische energie in 24 h
η_2 = rendement van de generator = 0,80 [1p] (80%)
t = 24 h = 24 · 60 · 60 s = 86400 s,

zodat: $E_m = \frac{1{,}2 \cdot 10^6 \cdot 86400}{0{,}80} = 1{,}30 \cdot 10^{11}$ J

zodat: $E_{st.olie} = \frac{1{,}30 \cdot 10^{11}}{0{,}35} = 3{,}71 \cdot 10^{11}$ J

r_V = stookwaarde van stookolie = $40 \cdot 10^9$ J m^{-3} [1p] (Binas 28B)

Invullen: $V = \frac{3{,}71 \cdot 10^{11}}{40 \cdot 10^9} = 9{,}3$ m^3 [1p]

In het tabellenboek ScienceData staat voor de stookwaarde van stookolie opgegeven:
$r_V = 38{,}9 \cdot 10^9$ J m^{-3}. Daaruit volgt: $V = \frac{3{,}71 \cdot 10^{11}}{38{,}9 \cdot 10^9} = 9{,}5$ m^3

3p **4** Voor de stroomsterkte I_{1k} in één kabel geldt:

$I_{tot} = 36 \cdot I_{1k}$ [1p] (parallelschakeling, Binas 35D1) $\Rightarrow I_{1k} = \frac{I_{tot}}{36}$, waarin:

I_{tot} = totale stroomsterkte die door de wal wordt geleverd

Er geldt: $P_{schip} = U \cdot I_{tot}$ [1p] (Binas 35D1) $\Rightarrow I_{tot} = \frac{P_{schip}}{U}$, met:

P_{schip} = aan het schip geleverd vermogen = $1{,}2 \cdot 10^6$ W
U = geleverde spanning = 440 V,

zodat: $I_{tot} = \frac{1{,}2 \cdot 10^6}{440} = 2{,}73 \cdot 10^3$ A

Invullen: $I_{1k} = \frac{2{,}73 \cdot 10^3}{36} = 76$ A [1p]

3p **5** De weerstand R van de hoogspanningskabel bereken je met:

$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$ (Binas 35D1) $\Rightarrow R = \frac{\rho \cdot \ell}{A}$ [1p], waarin:

ρ = soortelijke weerstand van koper = $17 \cdot 10^{-9}$ Ω m [1p] (Binas 8)
A = oppervlakte van de doorsnede van de kabel = 25 cm^2 = $25 \cdot 10^{-4}$ m^2
ℓ = lengte van de kabel = 1,3 m

Invullen: $R = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 13}{25 \cdot 10^{-4}} = 8{,}8 \cdot 10^{-5}$ Ω [1p]

In het tabellenboek ScienceData staat voor de soortelijke weerstand van koper opgegeven:
$\rho = 16{,}8 \cdot 10^{-9}$ Ωm. Daaruit volgt: $R = 8{,}7 \cdot 10^{-5}$ Ω

2p **6** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

De geleidbaarheid van de 6,6 kV kabel is

veel groter dan / ongeveer even groot als / veel kleiner dan de

geleidbaarheid van de 36 oude 440 V kabels samen. [1p]

De stroomsterkte door de 6,6 kV kabel is

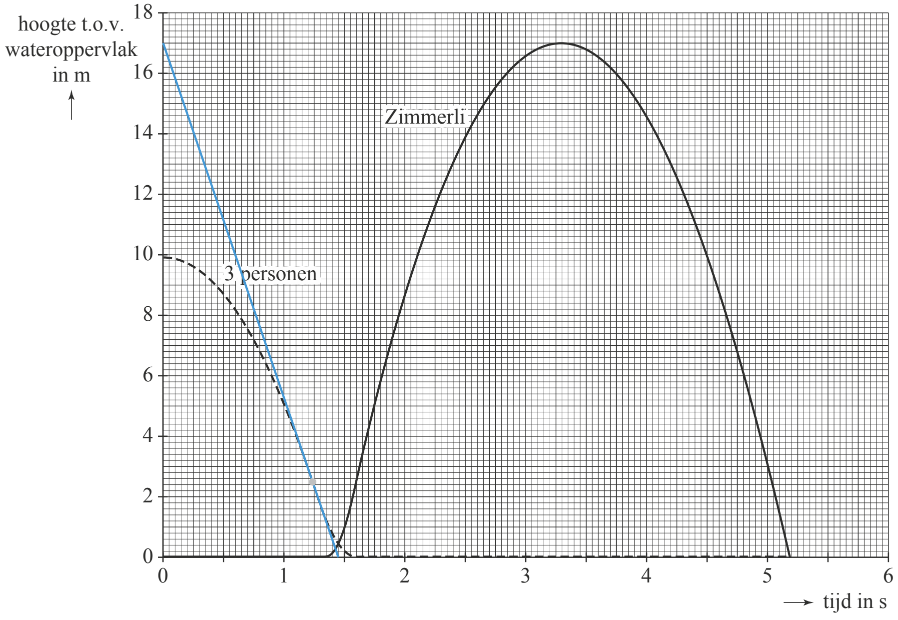
veel groter dan / ongeveer even groot als / veel kleiner dan de

stroomsterkte door de 36 oude 440 V kabels samen. [1p]

- *Voor de geleidbaarheid G geldt: $G = \frac{1}{R}$ (Binas 35D1), waarin R = weerstand van de kabel. De dunnere hoogspanningskabel heeft een veel grotere weerstand R dan de oorspronkelijke 36 kabels samen, dus de geleidbaarheid G van de hoogspanningskabel is veel kleiner dan die van de oude kabels samen.*
- *Het elektrisch vermogen P van het schip is gelijk gebleven, dus:*
  $P_{oud} = P_{nieuw} \Rightarrow U_{oud} \cdot I_{oud} = U_{nieuw} \cdot I_{nieuw}$ (Binas 35D1).
  U_{nieuw} is veel groter dan U_{oud}, dus I_{nieuw} (in de hoogspanningskabel) is veel kleiner dan I_{oud} (in de oorspronkelijke 36 kabels samen).

Wereldrecord blobspringen

3p **7** Zie tekening 1 (de ingevulde uitwerkbijlage).



tekening 1

De groep raakt de blob op $t = 1{,}27$ s. De snelheid v_{groep} waarmee de groep de blob raakt, vind je door op $t = 1{,}27$ s een raaklijn te tekenen aan de gestippelde grafiek. [1p] Dan geldt:

v_{groep} = helling van de raaklijn = $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ (Binas 35A1) = $\frac{17{,}0}{1{,}45}$ [1p] = 11,7 m s^{-1} [1p]

3p **8** Voor de snelheid $v_{drukgolf}$ van de drukgolf geldt: $v_{drukgolf} = \frac{s_{blob}}{t_{drukgolf}}$ [1p] (Binas 35A1), met:

s_{blob} = afstand die de drukgolf in de blob aflegt
Deze afstand kan als volgt worden geschat. In de foto van figuur 1 is de afstand tussen de groep en Zimmerli op de blob 2 cm.
Volgens de grafiek in de uitwerkbijlage van vraag 7 is de afstand waarover de groep valt 9,9 m. Deze afstand is in de foto 2,8 cm,

zodat: $s_{blob} = \frac{9{,}9}{2{,}8} \cdot 2 = 7$ m [1p]

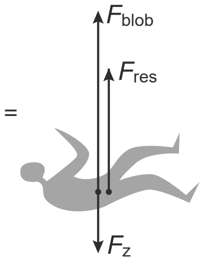
$t_{drukgolf}$ = tijd tussen het moment waarop de groep de blob raakt ($t = 1{,}27$ s) en het moment waarop de drukgolf bij Zimmerli aankomt ($t = 1{,}34$ s),
zodat: $t_{drukgolf} = 1{,}34 - 1{,}27 = 0{,}07$ s

Invullen: $v_{drukgolf} = \frac{7}{0{,}07} = 1 \cdot 10^2$ m s^{-1}

De geluidssnelheid in lucht = $3{,}4 \cdot 10^2$ m s^{-1} (Binas 15A)
De snelheid $v_{drukgolf}$ van de drukgolf is dus kleiner dan de geluidssnelheid in lucht. [1p]
De schatting van de afstand s_{blob} tussen de groep en Zimmerli op de blob kan ook op andere manieren worden bepaald, bijvoorbeeld door de lengte van een persoon te schatten op 1,8 m. Deze lengte komt in de foto overeen met een lengte van 0,5 cm.

Dan geldt: $s_{blob} = \frac{1{,}8}{0{,}5} \cdot 2 = 7$ m

3p **9** Zie tekening 2. Deze tekening is niet op schaal.
De gemiddelde kracht F_{blob} omhoog die de blob tijdens de lancering op Zimmerli heeft uitgeoefend, volgt uit:



tekening 2

$F_{res} = F_{blob} - F_z \Rightarrow F_{blob} = F_{res} + F_z$ [1p] $= m \cdot a + m \cdot g$ [1p] (Binas 35A3) =
$= m \cdot (a + g)$, waarin:
F_{res} = omhooggerichte resulterende kracht die Zimmerli heeft ondervonden
F_z = zwaartekracht die op Zimmerli werkt
m = massa van Zimmerli = 80 kg
a = gemiddelde versnelling omhoog = $1{,}78 \cdot 10^2$ m s^{-2}
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
Invullen: $F_{blob} = 80 \cdot (1{,}78 \cdot 10^2 + 9{,}81) = 1{,}5 \cdot 10^4$ N [1p]

1p **10** Tekening IV is juist.
Als Zimmerli op weg is naar het hoogste punt, is er geen contact meer tussen Zimmerli en de blob $\Rightarrow F_{blob} = 0$. Op Zimmerli werkt onderweg alleen de zwaartekracht.

3p **11** De maximale hoogte $h_{Zim,max}$ die Zimmerli had kunnen bereiken, met verwaarlozing van alle energieverliezen, bereken je met de wet van behoud van energie:
$E_{z,groep} = E_{z,Zim}$ [1p] $\Rightarrow m_{groep} \cdot g \cdot h_{groep} = m_{Zim} \cdot g \cdot h_{Zim,max}$ [1p] (Binas 35A4) $\Rightarrow$
$\Rightarrow m_{groep} \cdot h_{groep} = m_{Zim} \cdot h_{Zim,max}$, waarin:
$E_{z,groep}$ = afname van de zwaarte-energie van de groep tijdens de sprong
$E_{z,Zim}$ = toename van de zwaarte-energie van Zimmerli na de lancering
m_{groep} = massa van de groep = 300 kg
g = valversnelling
h_{groep} = beginhoogte van de groep = 9,9 m
m_{Zim} = massa van Zimmerli = 80 kg

Invullen: $300 \cdot 9{,}9 = 80 \cdot h_{Zim,max} \Rightarrow h_{Zim,max} = \frac{300 \cdot 9{,}9}{80} = 37$ m [1p]

2p **12** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

mogelijke verklaringen	juist	onjuist
De blob neemt energie op.	X	
De zwaartekracht remt Zimmerli af.		X
Zimmerli schiet schuin omhoog weg.	X	

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
regel 1: Als de groep de blob raakt, wordt een deel van de kinetische energie van de groep aan de blob overgedragen in de vorm van warmte en vervorming van de blob.
regel 2: Het afremmen van Zimmerli door de zwaartekracht is al verwerkt in het toepassen van de wet van behoud van energie in vraag 11.
regel 3: Als Zimmerli schuin omhoog wordt geschoten, wordt de kinetische energie van Zimmerli niet volledig omgezet in zwaarte-energie. In het hoogste punt behoudt hij een horizontale snelheid en dus ook kinetische energie. Hierdoor zal hij een minder grote hoogte bereiken.

Kookstenen

3p **13** Bereken de golflengte λ_{max} van de straling die het meest door de steen wordt uitgezonden met de wet van Wien: $\lambda_{max} \cdot T = k_W$ [1p] (Binas 35E1) $\Rightarrow \lambda_{max} = \frac{k_W}{T}$, waarin:

T = temperatuur van de steen = 384 °C = (384 + 273) K [1p] (Binas 35C1) = 657 K
k_W = constante van Wien = $2{,}8978 \cdot 10^{-3}$ m K (Binas 7A)

Invullen: $\lambda_{max} = \frac{2{,}8978 \cdot 10^{-3}}{657} = 4{,}41 \cdot 10^{-6}$ m [1p]

4p **14** Bereken de massa m_w van het water met:
$Q_{gr} = Q_w$ [1p] $\Rightarrow c_{gr} \cdot m_{gr} \cdot \Delta T_{gr} = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T_w$ [1p] (Binas 35C4), waarin:
Q_{gr} = door het graniet afgegeven warmte
Q_w = door het water opgenomen warmte
c_{gr} = soortelijke warmte van graniet = $0{,}82 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}
m_{gr} = massa van de granieten steen = 2,3 kg
ΔT_{gr} = temperatuurdaling van de granieten steen = (384 – 100) °C = 284 °C = 284 K
c_w = soortelijke warmte van water = $4{,}18 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} [1p]
ΔT_w = temperatuurstijging van het water = (100 – 18) °C = 82 °C = 82 K

Invullen: $0{,}82 \cdot 10^3 \cdot 2{,}3 \cdot 284 = 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot m_w \cdot 82 \Rightarrow m_w = \frac{0{,}82 \cdot 10^3 \cdot 2{,}3 \cdot 284}{4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 82} = 1{,}6$ kg [1p]

2p **15** De kooksteen van basalt heeft een soortelijke warmte van $0{,}88 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}.
Dat is hoger dan de soortelijke warmte van graniet ($0{,}82 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1}). [1p]
Bij gelijke massa m en dezelfde temperatuurdaling ΔT geeft basalt dus meer warmte af dan graniet. Om dezelfde hoeveelheid water te verwarmen is dus een kleinere massa basalt nodig. [1p]

3p **16** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.

situatie	opwarmtijd water wordt langer	opwarmtijd water wordt korter
De kooksteen heeft een groter oppervlak bij gelijke massa.		X
De kooksteen heeft een hogere begintemperatuur.		X
De houten pot wordt afgedekt met een deksel.		X
De houten pot is breder en minder diep. De pot is gevuld met dezelfde hoeveelheid water.	X	
De bodem waar de houten pot op staat is bevroren.	X	

[5 goed 3p, 4 goed 2p, 3 goed 1p, 2 of 1 goed 0p]
1^e^ situatie: *De kooksteen geeft door het grotere oppervlak (bij gelijke massa) per seconde meer warmte af ⇒ de opwarming van het water gaat sneller.*
2^e^ situatie: *Door de hogere begintemperatuur wordt er per seconde meer warmte aan het water afgestaan ⇒ de opwarming gaat sneller.*
3^e^ situatie: *Doordat de houten pot wordt afgedekt met een deksel, zal er minder warmte naar de buitenlucht ontsnappen ⇒ de opwarmtijd zal korter zijn.*
4^e^ situatie: *Doordat de pot breder is, zal er door het grotere wateroppervlak meer water verdampen dan bij de smallere pot ⇒ de opwarming duurt langer.*
5^e^ situatie: *Tijdens de opwarming zal het water warmte afgeven aan de pot en de pot zal vervolgens warmte afgeven aan de bevroren bodem ⇒ de opwarming duurt langer.*

3p **17** Voor de warmtestroom P door de wand van de pot als het water aan de kook is, geldt:

$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ [1p] (Binas 35C4), waarin:

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt van eikenhout = 0,4 W m^{-1} K^{-1}
A = oppervlakte van de wand van de pot = $1 \cdot 10^3$ cm^2 = $1 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4}$ m^2 = 0,1 m^2
ΔT = temperatuurdaling = (100 – 20) °C = 80 °C = 80 K
d = dikte van de wand van de pot = 3 cm = $3 \cdot 10^{-2}$ m [1p]

Invullen: $P = 0{,}4 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{80}{3 \cdot 10^{-2}} = 1 \cdot 10^2$ W [1p]

Oude horloges

1p **18** De frequentie waarmee de stemvork trilt na het aanslaan, heeft verschillende benamingen: eigenfrequentie / grondfrequentie / resonantiefrequentie.

3p **19** De frequentie f van de toon van de stemvork volgt uit: $f = \frac{1}{T}$ [1p] (Binas 35B1), waarin:
T = trillingstijd van de grondtoon
Lees in de uitwerkbijlage de tijd van drie trillingen (drie volledige sinussen) af:
$3 \cdot T = 8{,}4 \cdot 1{,}0$ ms [1p] $= 8{,}4 \cdot 10^{-3}$ s $\Rightarrow T = \frac{8{,}4 \cdot 10^{-3}}{3} = 2{,}8 \cdot 10^{-3}$ s
Invullen: $f = \frac{1}{2{,}8 \cdot 10^{-3}} = 3{,}6 \cdot 10^2$ Hz
Deze toon ligt tussen 20 Hz en 20 kHz, dus voor de mens in het hoorbare gebied. [1p]

2p **20** Voor de trillingstijd T van een massa-veersysteem geldt:
$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ (Binas 35B1), waarin:
m = massa van het massa-veersysteem en C = veerconstante
Voor een massa-veersysteem met een bepaalde veerconstante C hangt de trillingstijd T dus alleen af van de massa m. De massa van de stemvork verandert niet als hij wordt verplaatst van de aarde naar de ruimte [1p], dus de trillingstijd T blijft gelijk. De NASA hoeft dus geen rekening te houden met een andere trillingstijd in de ruimte. [1p]

3p **21** $^{147}_{61}\text{Pm} \rightarrow {}^{147}_{62}\text{Sm} + {}^{0}_{-1}\text{e}$
- *Promethium (Pm) heeft atoomnummer 61 (Binas 25A, 40A of 99).*
- *Er komt β-straling vrij; deze bestaat uit elektronen* ${}^{0}_{-1}$e. [1p]
- *De som van de atoomnummers is links en rechts van → gelijk: het atoomnummer van de kern die vrijkomt is dus 61 – (–1) = 62. Dit is het element Samarium (Sm) (Binas 25A, 40A of 99).*
- *De som van de massagetallen is links en rechts van → gelijk.* [1p] *Het massagetal van Samarium is dus 147 – 0 = 147.* [1p]

2p **22** Röntgenstraling heeft een groter doordringend vermogen dan β-straling. [1p]
Daardoor zal de β-straling niet door de behuizing kunnen dringen, maar de röntgenstraling wel. [1p]

3p **23** Zie de ingevulde uitwerkbijlage.
De halveringsdikte van ijzer bij een energie van 0,05 MeV per foton is 0,049 cm = 0,49 mm [1p] (Binas 28F).
Na 1 × 0,49 mm is de intensiteit van de röntgenstraling dus afgenomen tot $\frac{1}{2} \cdot 100\% = 50\%$,

na 2 × 0,49 mm = 0,98 mm tot $\left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 100\% = 25\%$, [1p]

na 3 × 0,49 mm = 1,47 mm tot $\left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot 100\% = 12{,}5\%$.

0 tot 20% (omcirkeld)
20 tot 40%
40 tot 60%
60 tot 80%
80 tot 100%

Er komt dus 12,5% van de oorspronkelijke straling door de achterkant van het horloge. Dat is in de tabel: 0 tot 20%. [1p]

Het tabellenboek ScienceData (tabel 5.9) geeft voor de halveringsdikte van ijzer bij een energie van 0,05 MeV per foton op: 0,045 cm = 0,45 mm. Na 3 × 0,45 = 1,35 mm is de intensiteit van de röntgenstraling afgenomen tot $\left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot 100\% = 12{,}5\%$. De achterkant van het horloge is nog dikker dan 1,35 mm, dus zal de intensiteit van de straling nog minder zijn dan 12,5% van de oorspronkelijke intensiteit. Dit is in de tabel: 0 tot 20%.

5p **24** Voor de equivalente dosis H per jaar geldt:

$H = w_R \cdot D = w_R \cdot \frac{E}{m}$ [1p] (Binas 35E3), waarin:

w_R = stralingsweegfactor voor röntgenstraling = 1
D = dosis geabsorbeerde ioniserende straling in één jaar
E = in één jaar ontvangen energie
Er geldt: $E = N \cdot E_{foton}$ [1p], met:
N = in één jaar ontvangen aantal fotonen = 365 · 24 · 60 · 60 · 25 = $7{,}9 \cdot 10^8$ [1p]
E_{foton} = energie van 1 foton = 0,05 MeV = $0{,}05 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J [1p] (Binas 5) = $= 8{,}0 \cdot 10^{-15}$ J
zodat: $E = 7{,}9 \cdot 10^8 \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-15} = 6{,}32 \cdot 10^{-6}$ J
m = massa van het bestraalde deel van de pols = 75 g = $75 \cdot 10^{-3}$ kg

Invullen: $H = 1 \cdot \frac{6{,}32 \cdot 10^{-6}}{75 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^{-5}$ Sv

Het dragen van dit horloge levert een equivalente dosis die ruim onder de jaarlijkse dosislimiet van $50 \cdot 10^{-3}$ Sv blijft. [1p]

Elysium

1p **25** Antwoord A is juist.

$F_g = F_{mpz} \Rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ *(Binas 35A5 en 35A2)* $\Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, *waarin:*

F_g = gravitatiekracht, F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht, G = gravitatieconstante, m = massa van Elysium, M = massa van de aarde, r = afstand van Elysium tot het middelpunt van de aarde ($r = R + h$, met R = straal van de aarde en h = hoogte van Elysium boven het aardoppervlak).

©ThiemeMeulenhoff

4p **26** Vergelijk de tijd T_{object} die het object erover doet om eenmaal om de aarde te draaien met de tijd T_{aarde} waarin de aarde eenmaal om zijn as draait.

Er geldt: $\frac{r^3}{T_{object}^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2} \Rightarrow T_{object}^2 = \frac{4\pi^2 \cdot r^3}{G \cdot M} \Rightarrow T_{object} = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot r^3}{G \cdot M}}$, waarin:

r = afstand van de geostationaire baan tot het middelpunt van de aarde = $= R + h$, met:
R = straal van de aarde = $6{,}371 \cdot 10^6$ m [1p] (Binas 31)
h = hoogte van de geostationaire baan boven het aardoppervlak = $= 36 \cdot 10^3$ km = $36 \cdot 10^6$ m
zodat: $r = 6{,}371 \cdot 10^6 + 36 \cdot 10^6 = 42 \cdot 10^6$ m
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N m² kg^{-2} (Binas 7A)
M = massa van de aarde = $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31) [1p]

Invullen: $T_{object} = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot (42 \cdot 10^6)^3}{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}} = 8{,}6 \cdot 10^4$ s

Nu is T_{aarde} = 24 h = 24 · 60 · 60 s = $8{,}6 \cdot 10^4$ s
Dus: $T_{object} = T_{aarde}$ [1p] ⇒ het is een geostationaire baan. [1p]

2p **27** *methode 1*
Bereken de hoogte $h_{Elysium}$ van Elysium boven de aarde. Als Elysium even groot lijkt als de maan, zijn in figuur 2 de beide driehoeken gelijkvormig. Dan geldt:

$\frac{D_{Elysium}}{D_M} = \frac{h_{Elysium}}{h_M} \Rightarrow h_{Elysium} = \frac{D_{Elysium}}{D_M} \cdot h_M$ [1p], waarin:

$D_{Elysium}$ = diameter van het ruimtestation = $64 \cdot 10^3$ m
D_M = diameter van de maan = $3{,}5 \cdot 10^6$ m
h_M = afstand van de maan tot het aardoppervlak = $3{,}8 \cdot 10^8$ m

Invullen: $h_{Elysium} = \frac{64 \cdot 10^3}{3{,}5 \cdot 10^6} \cdot 3{,}8 \cdot 10^8 = 6{,}9 \cdot 10^6$ m = $6{,}9 \cdot 10^3$ km

Deze afstand is kleiner dan de afstand van de geostationaire baan tot het aardoppervlak (deze is $36 \cdot 10^3$ km). Elysium bevindt zich dus niet in de geostationaire baan. [1p]

methode 2
Vergelijk de hoek $\alpha_{Elysium}$ waaronder je Elysium ziet als deze zich in de geostationaire baan zou bevinden, met de hoek α_M waaronder je de maan ziet.

In de bovenste driehoek van figuur 2 geldt: $\tan \alpha_{Elysium} = \frac{D_{Elysium}}{h_{Elysium}}$ [1p], waarin:

$D_{Elysium}$ = diameter van Elysium = $64 \cdot 10^3$ m
$h_{Elysium}$ = afstand tussen Elysium en het aardoppervlak = afstand van de geostationaire baan tot het aardoppervlak = $36 \cdot 10^3$ km = $36 \cdot 10^6$ m

Invullen: $\tan \alpha_{Elysium} = \frac{64 \cdot 10^3}{36 \cdot 10^6} \Rightarrow \alpha_{Elysium} = 0{,}10°$

In de onderste driehoek geldt: $\tan \alpha_M = \frac{D_M}{h_M}$, waarin:

D_M = diameter van de maan = $3{,}5 \cdot 10^6$ m
h_M = afstand van de maan tot het aardoppervlak = $3{,}8 \cdot 10^8$ m

Invullen: $\tan \alpha_M = \frac{3{,}5 \cdot 10^6}{3{,}8 \cdot 10^8} \Rightarrow \alpha_M = 0{,}53°$

De hoeken $\alpha_{Elysium}$ en α_M zijn niet gelijk aan elkaar, dus Elysium bevindt zich niet in de geostationaire baan. [1p]

1p **28** In plaatje II is de kracht juist weergegeven.
Op een voorwerp dat een cirkelbeweging uitvoert, werkt als resulterende kracht de middelpuntzoekende kracht. Deze is naar het middelpunt van de cirkelbaan gericht.

©ThiemeMeulenhoff

3p **29** We berekenen de baansnelheid v waarmee de rand van Elysium ronddraait met:

$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ [1p] (Binas 35A2), waarin:

r = straal van Elysium = 32 km = $32 \cdot 10^3$ m

T = tijd van een volledige omwenteling (360°) van Elysium
In 3,2 s draait het station over een hoek van 3,0°.

Dan geldt: $T = \frac{360}{3,0} \cdot 3,2$ [1p] = 384 s

Invullen: $v = \frac{2\pi \cdot 32 \cdot 10^3}{384} = 5,2 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-1}$

Deze snelheid is kleiner dan de benodigde snelheid van $5,8 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-1}$. [1p]

Examen 2019-II

Koper–67

Koper-67 (Cu-67) is een geschikte isotoop voor radiotherapie. De halveringstijd van 62 uur is lang genoeg om de stof te laten ophopen in tumorweefsel en dit van binnenuit te bestralen. Het Cu-67 zendt β-straling en γ-straling uit.

3p **1** Geef de vergelijking van de vervalreactie van Cu-67.

Cu-67 kan zowel voor beeldvorming van tumorweefsel als voor behandeling ervan worden gebruikt.

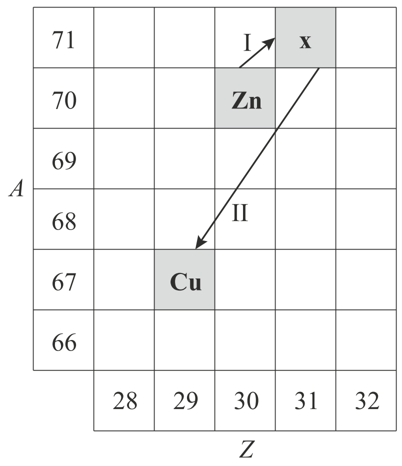
2p **2** Leg dit uit.

Cu-67 moet worden geproduceerd.
Bij een bepaalde methode worden kernen van zink-70 (Zn-70) beschoten met protonen. Als een proton doordringt in een kern Zn-70 ontstaat een nieuwe kern x. In figuur 1 wordt deze reactie weergegeven met pijl I. Deze nieuwe kern x valt direct daarna uiteen in twee deeltjes. Eén van die deeltjes is Cu-67. Deze reactie wordt weergegeven met pijl II.

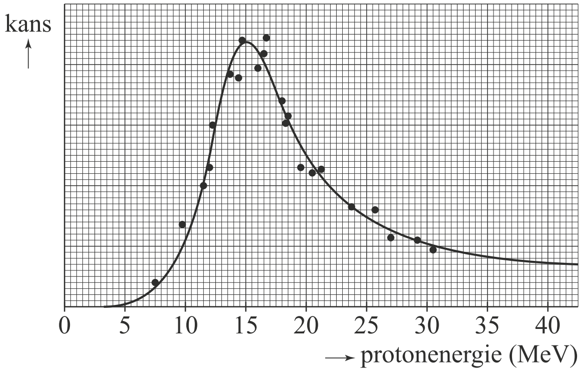
2p **3** Leg met behulp van figuur 1 uit welk ander deeltje vrijkomt bij deze tweede reactie.

De kans dat deze reactie lukt is afhankelijk van de kinetische energie van de afgeschoten protonen. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 1



figuur 2



3p **4** Bepaal met behulp van de figuur de snelheid die de protonen moeten hebben om de kans op succes zo groot mogelijk te maken.

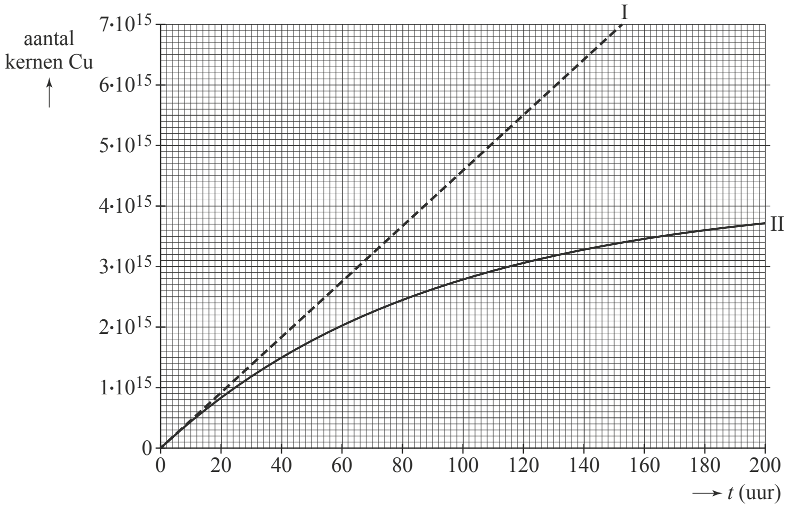
Een tweede methode om Cu-67 te maken is door zink-68 (Zn-68) te beschieten met zeer snelle protonen uit een protonenversneller. Bij deze botsing wordt door het snelle proton een ander proton uit de Zn-68 kern gestoten. Uit de oorspronkelijke Zn-68 kern is dan een proton verdwenen. Deze reactie heeft maar een heel kleine kans van slagen. Er moeten veel protonen worden afgeschoten op het zink om af en toe een koperkern te laten ontstaan.

Voor een bepaalde medische behandeling zijn $3{,}2 \cdot 10^{15}$ kernen Cu-67 nodig. De protonenversneller levert een protonen-stroomsterkte van 43 μA. Als het verval van Cu-67 wordt verwaarloosd zou het 70 uur duren om genoeg kernen te produceren voor de behandeling.

3p **5** Bereken hoeveel protonen er gemiddeld afgeschoten moeten worden om één Cu-67 deeltje te produceren.

In figuur 3 staat het aantal koperkernen uitgezet tegen de tijd. Lijn I geeft de productie van koperkernen weer, zonder rekening te houden met het verval van de koperkernen. Lijn II geeft het werkelijk aantal aanwezige koperkernen als functie van de tijd.

figuur 3

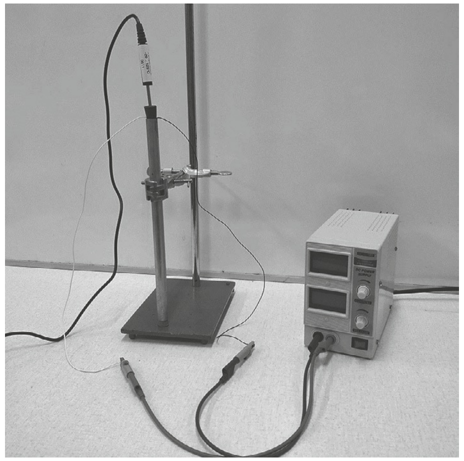


3p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in figuur 3 aan hoe lang de productie van $3{,}2 \cdot 10^{15}$ koperkernen voor één behandeling in de praktijk duurt.
- Bepaal met figuur 3 hoeveel koperkernen vervallen tijdens de productie.

Buisisolatie

Richard wil de verwarmingsbuizen in zijn huis gaan isoleren. Hij maakt een testopstelling om te meten hoe groot het effect van buisisolatie kan zijn. Hij vult een stuk koperen verwarmingsbuis met water. In het water hangt hij twee weerstanden om het water te verwarmen. Deze zijn aangesloten op een regelbare spanningsbron. Hij sluit de buis af met een kurk met een thermometer. Zie figuur 1.

figuur 1



Richard gebruikt twee parallel geschakelde weerstanden. Iedere weerstand heeft een opschrift: "27 Ω, max. 20 W".
Voor het door een weerstand opgenomen vermogen geldt:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

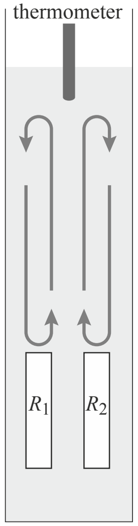
4p **7** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid deze formule af met behulp van formules uit het tabellenboek.
- Bereken de spanning die nodig is om de weerstanden te laten werken op het maximale vermogen volgens de opschriften.

De buis bevat 26 g water van 18 °C. Het water in de verwarmingsbuizen in huis is 75 °C.
Veronderstel dat er geen energieverlies is.

4p **8** Bereken de tijd die minimaal nodig is om het water in de proefopstelling te verwarmen tot 75 °C wanneer de twee weerstanden werken op het maximale vermogen volgens de opschriften.

De thermometer zit boven in de buis. Alleen boven de weerstanden is er sprake van warmtetransport door stroming. Richard heeft de weerstanden niet helemaal onderin de buis geplaatst. Zie figuur 2.

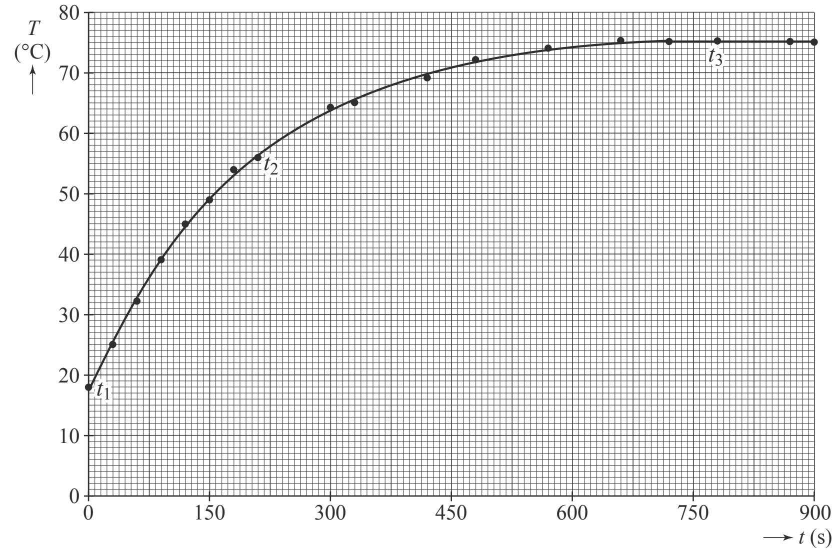
figuur 2



1p **9** Geef een natuurkundige reden waarom de thermometer al eerder een temperatuur van 75 °C aangeeft.

In werkelijkheid is er wel energieverlies.
Richard stelt de spanning zo in dat de eindtemperatuur van 75 °C precies wordt behaald en zet zijn metingen vervolgens uit in een diagram. Zie figuur 3.

figuur 3



In de grafiek zijn drie tijdstippen t_1, t_2 en t_3 aangegeven. Aan de buis wordt een constant elektrisch vermogen $P_{elektrisch}$ toegevoerd. Op de uitwerkbijlage staat een tabel. Het energieverlies per seconde aan de omgeving wordt $P_{verlies}$ genoemd.

2p **10** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor ieder tijdstip t_1, t_2 en t_3 met een kruisje aan of $P_{elektrisch}$ groter is dan, even groot is als of kleiner is dan $P_{verlies}$.

Uitwerkbijlage bij vraag 10

tijdstip	$P_{elektrisch} > P_{verlies}$	$P_{elektrisch} = P_{verlies}$	$P_{elektrisch} < P_{verlies}$
t_1			
t_2			
t_3			

Richard constateert dat de verwarmingsbuizen in zijn huis niet van koper maar van ijzer zijn. Hij vraagt zich af of dit verschil maakt voor het warmteverlies bij gelijk temperatuurverschil.

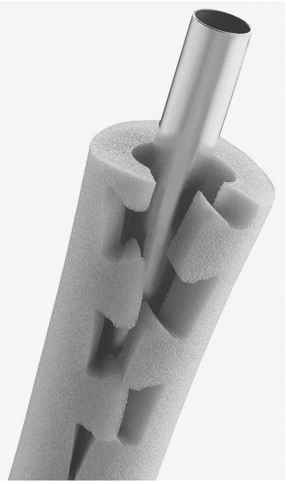
Voor de warmtestroom door de wand van een buis geldt:

$$P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$$

2p **11** Leg met behulp van de formule uit of de warmtestroom bij een koperen buis groter is dan, kleiner is dan of gelijk is aan de warmtestroom bij een identiek gevormde ijzeren buis.

Richard isoleert de dunne wand van de buis met een isolatielaag. Zie figuur 4.
In figuur 5 staat een overzicht van de technische gegevens van de isolatielaag.

figuur 4



figuur 5

Technische gegevens	
Materiaal	PE schuim
Isolatiedikte	13 mm
Warmtegeleidings-coëfficiënt	0,038 W m^{-1} K^{-1}

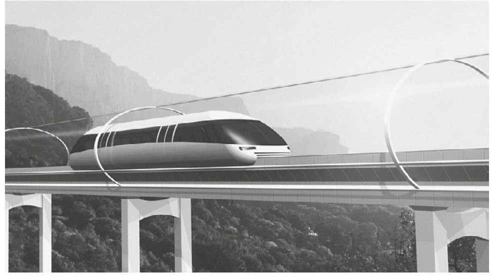
Zonder isolatie is het energieverlies per seconde ($P_{verlies}$) gelijk aan 27 W. De isolatie zorgt voor een kleiner energieverlies per seconde.
Het temperatuurverschil over de isolatie is 57 ºC. Het temperatuurverschil over de buis is verwaarloosbaar. Richard bepaalt dat de oppervlakte van de isolatie $4{,}9 \cdot 10^{-2}$ m^2 is.

3p **12** Bereken de factor waarmee $P_{verlies}$ verkleind wordt door het gebruik van de buisisolatie.

Hyperloop

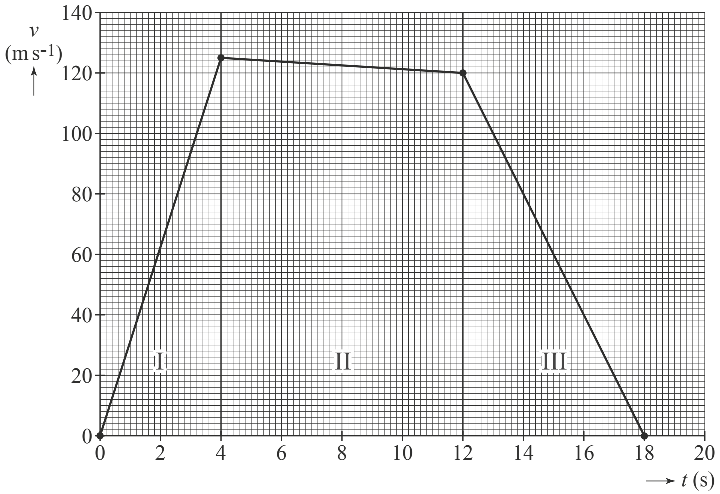
Een hyperloop is een toekomstontwerp voor snel transport over lange afstanden. Hierbij reizen passagiers in een zogenaamde ‘pod’ met hoge snelheid door een buis. Zie figuur 1.

figuur 1



Om de ontwikkeling van de hyperloop te stimuleren is er een ontwerpwedstrijd uitgeschreven voor bedrijven en universiteiten.
Voor deze wedstrijd zijn veel deelontwerpen bedacht en getest om diverse deelproblemen van de hyperloop op te lossen.
Een deel van de testen is eerst gemodelleerd. Zo is van een pod die getest moet worden met een vereenvoudigd model een (v,t)-diagram gemaakt. Zie figuur 2.

figuur 2



In deel I wordt de pod met een motor versneld, in deel II is de motor uitgeschakeld en in deel III wordt de pod door de motor afgeremd.

2p **13** Leg met behulp van figuur 2 uit of in het model rekening is gehouden met wrijving.

Om pod-ontwerpen te testen is een testtraject gebouwd. Dat testtraject is 1,7 km lang.

3p **14** Toon met behulp van figuur 2 aan of het traject lang genoeg is voor de test met de pod uit het model.

Voor de luchtweerstandskracht geldt:

$$F_w = k \cdot \rho \cdot v^2$$

Hierin is:
- k een constante;
- ρ de dichtheid van de lucht;
- v de snelheid van de pod.

En voor het gebruikte motorvermogen:

$$P_{motor} = F_w \cdot v$$

De pod moet aangedreven gaan worden door een motor met hetzelfde motorvermogen als een gewone treinmotor. Een trein haalt daarmee een snelheid van $1{,}2 \cdot 10^2$ km h^{-1}. De pod moet een snelheid halen van $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}. Dit kan door de dichtheid van de lucht in de buis aan te passen. Constante k wordt gelijk beschouwd voor trein en pod.

2p **15** Op de uitwerkbijlage staan twee tabellen. Omcirkel in iedere tabel het juiste antwoord.

Uitwerkbijlage bij vraag 15

- Bij gelijke dichtheid van de lucht in de buis en buiten de buis zou de luchtweerstand op de pod (met $v = 1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}) ten opzichte van de luchtweerstand op de trein (met $v = 1{,}2 \cdot 10^2$ km h^{-1}):

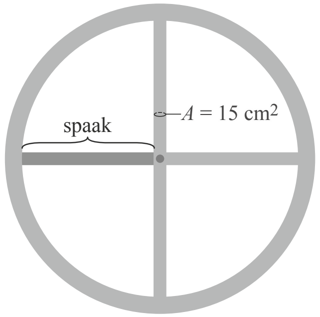
$1 \cdot 10^3$ keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^2$ keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^1$ keer zo klein zijn
gelijk zijn
$1 \cdot 10^1$ keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^2$ keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^3$ keer zo groot zijn

- Als de pod (met $v = 1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}) en de trein (met $v = 1{,}2 \cdot 10^2$ km h^{-1}) met gelijk motorvermogen moeten worden aangedreven, moet de dichtheid van de lucht in de buis vergeleken met de buitenlucht:

$1 \cdot 10^3$ keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^2$ keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^1$ keer zo klein zijn
gelijk zijn
$1 \cdot 10^1$ keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^2$ keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^3$ keer zo groot zijn

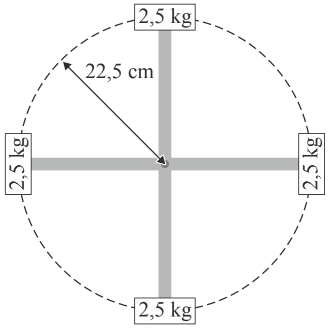
Sommige ontwerpers gaan uit van een pod op wielen. Bij hoge snelheid breken wielen als de middelpuntzoekende kracht in het wiel te groot wordt. De ontwerpers gebruiken een model van een wiel om in een simulatie te testen of hun wielontwerp sterk genoeg is. In het model wordt het wiel voorgesteld als een ring van 10 kg met 4 spaken. Iedere spaak is van aluminium en heeft een doorsnede met een oppervlakte van 15 cm^2. Zie figuur 3.

figuur 3



In de simulatie is aan iedere spaak een kwart van de totale massa van de ring bevestigd. Zie schematisch in figuur 4. Deze massa's krijgen een baansnelheid van $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1} en beschrijven een cirkelbaan met een straal van 22,5 cm. De zwaartekracht wordt verwaarloosd.

figuur 4



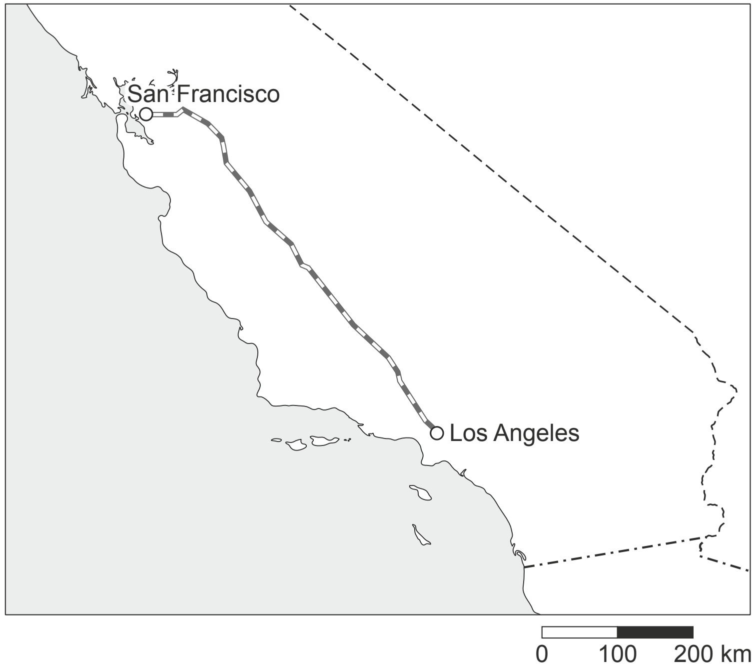
4p **16** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat bij $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1} de middelpuntzoekende kracht op één massa gelijk is aan $1{,}2 \cdot 10^6$ N.
- Toon aan of de spaak sterk genoeg is.

Andere ontwerpers hebben niet voor wielen gekozen, maar voor magneten die de pod boven de rails laten zweven en kleine schokken opvangen. Dit systeem met magneten werkt als een soort veer met veerconstante *C*.
Een beladen pod ($m = 1{,}30 \cdot 10^3$ kg) zweeft 4,0 cm boven de rail. Een lege pod ($m = 8{,}0 \cdot 10^2$ kg) zweeft 7,0 cm boven de rail.

3p **17** Bereken de veerconstante van dit systeem.

Uiteindelijk kan de hyperloop worden ingezet om grote steden met elkaar te verbinden. In figuur 5 is op een kaart een voorgesteld traject van San Francisco naar Los Angeles weergegeven.

figuur 5



De hyperloop moet met een gemiddelde snelheid van $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1} gaan reizen. Nu duurt een treinreis tussen deze steden nog 6,0 uur.

3p **18** Bepaal met behulp van figuur 5 de verwachte tijdwinst.

PWM

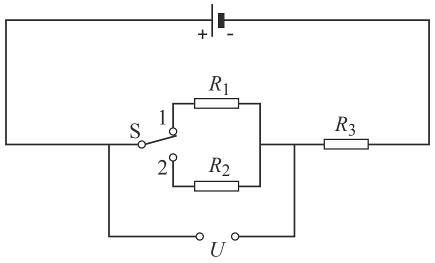
Mountainbikers gebruiken speciale lampen voor nachtritten. Zie figuur 1.
Zo'n lamp werkt op een accu die een constante spanning levert van 8,4 V. In de fietslamp zit een led. De fietslamp heeft twee standen voor de lichtsterkte.

Daan onderzoekt hoe de lamp op verschillende sterktes kan branden, terwijl de spanning van de accu constant is.

figuur 1

Daan gebruikt eerst een schakeling zoals weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Met schakelaar S kan Daan kiezen of weerstand R_1 of weerstand R_2 in serie wordt geschakeld met weerstand R_3. Door dit omschakelen verandert de spanning U.
De led wordt aangesloten op de spanning U.
In stand 1 brandt de led feller dan in stand 2.

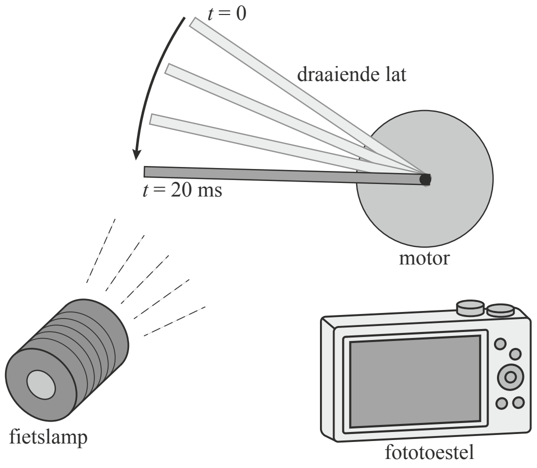
3p **19** Leg uit of weerstand R_1 groter of kleiner is dan weerstand R_2.

Een nadeel van deze schakeling is dat er veel energie verloren gaat in de weerstanden. Daan wil weten hoeveel energie er verloren gaat in de weerstanden.
Het elektrisch vermogen van de aangesloten led in één van de standen is 0,52 W. De spanningsbron van 8,4 V levert dan een stroomsterkte van 375 mA.

3p **20** Bereken het elektrische rendement van deze schakeling in deze stand.

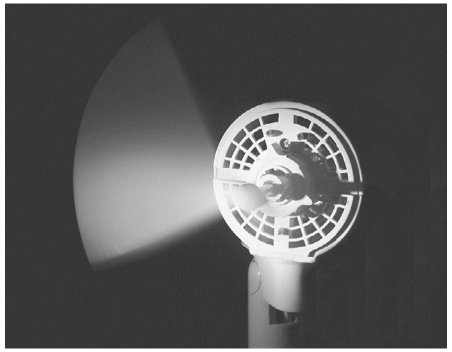
Op internet leest Daan over PWM (Pulse Width Modulation), een andere methode om leds te kunnen dimmen. Hierbij wordt de led met een hoge frequentie aan- en uitgeschakeld. In de gedimde stand brandt de led dan afwisselend op volle sterkte en helemaal niet. Het oog ervaart dat als een zwakker brandende led.
Daan onderzoekt nu of zijn fietslamp gebruikmaakt van PWM. Hij maakt een proefopstelling met een lat aan een motor. Hij laat de lat in het donker ronddraaien. Vervolgens belicht hij de draaiende lat met de fietslamp en maakt daarvan een foto.
Zie de schematische opstelling in figuur 3.

figuur 3

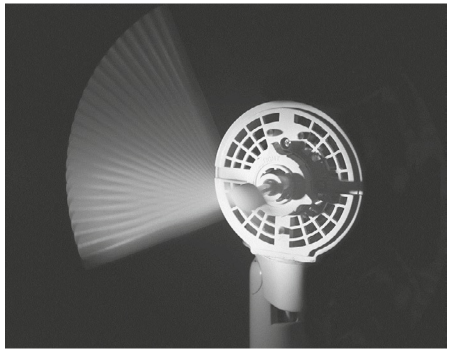


Daan maakt twee foto's, één in iedere stand van de fietslamp. Figuur 4 is de foto waarop de led fel brandt (stand 1), figuur 5 is de foto waarop de led gedimd brandt (stand 2).

figuur 4



figuur 5

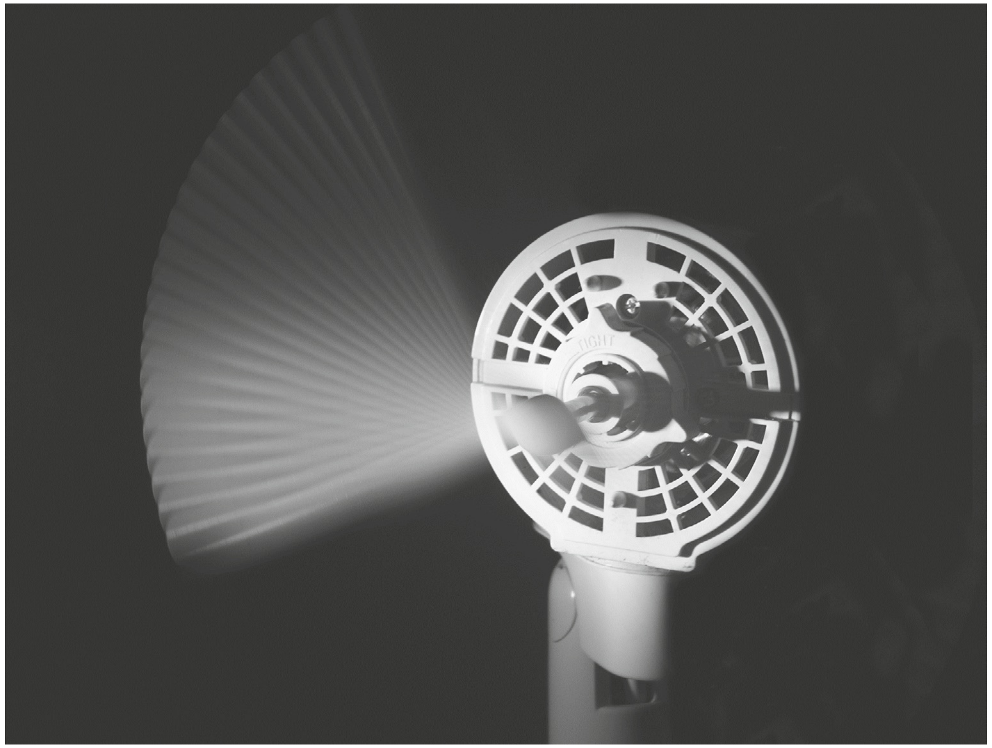


Voor beide foto's is de beeldchip 20 ms belicht. De lat staat 'uitgesmeerd' op de foto's doordat de lat verder draait in de tijd dat de foto gemaakt wordt.

Uit figuur 5 blijkt dat de led knippert in de gedimde stand 2. Figuur 5 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

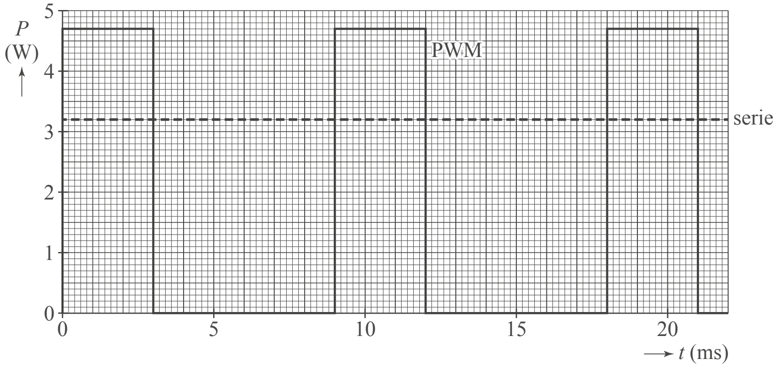
3p **21** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de frequentie waarmee de led knippert.

Uitwerkbijlage bij vraag 21



In figuur 6 staat een (*P*,*t*)-diagram van de accu van de fietslamp voor zowel een PWM-schakeling als een schakeling zoals in figuur 2. De led lijkt in beide gevallen even fel te branden.

figuur 6



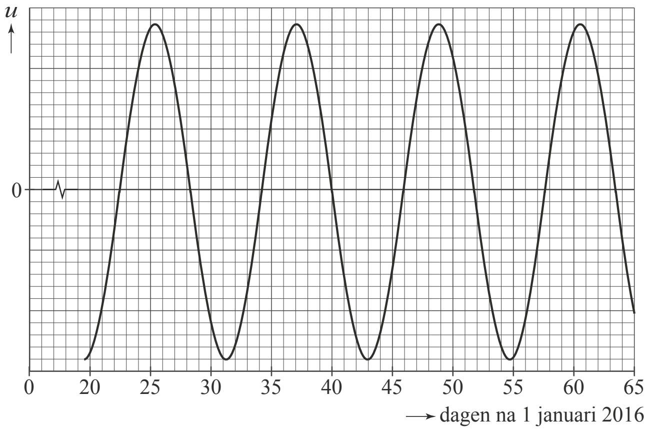
Daan denkt dat voor de PWM-schakeling minder energie nodig is dan voor de andere schakeling met twee weerstanden in serie.

2p **22** Leg met behulp van figuur 6 uit of dit waar is.

Proxima b

Een exoplaneet is een planeet die draait om een andere ster dan de zon. Een nieuw ontdekte exoplaneet draait om de ster Proxima Centauri. De nieuw ontdekte exoplaneet is Proxima b genoemd.
Proxima b is door onderzoekers ontdekt aan de hand van de beweging van de ster Proxima Centauri. Vanaf de aarde gezien lijkt deze ster heen en weer te bewegen. Figuur 1 geeft deze 'schommeling' in de tijd weer.

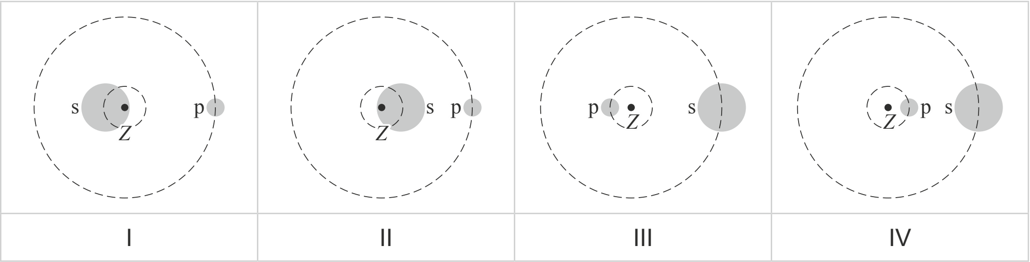
figuur 1



2p **23** Bepaal de periode van deze schommeling.

Proxima Centauri en de planeet draaien allebei om hun gezamenlijke zwaartepunt *Z* waardoor de schommelbeweging ontstaat. In figuur 2 staan vier schematische afbeeldingen waarin mogelijke banen en posities van de ster s en de planeet p ten opzichte van elkaar zijn weergegeven.

figuur 2



1p **24** In welke afbeelding zijn de banen en posities goed ten opzichte van elkaar en ten opzichte van zwaartepunt *Z* weergegeven?
A afbeelding I
B afbeelding II
C afbeelding III
D afbeelding IV

Over Proxima Centauri en Proxima b zijn een aantal gegevens bekend. Zie de tabel in figuur 3.

figuur 3

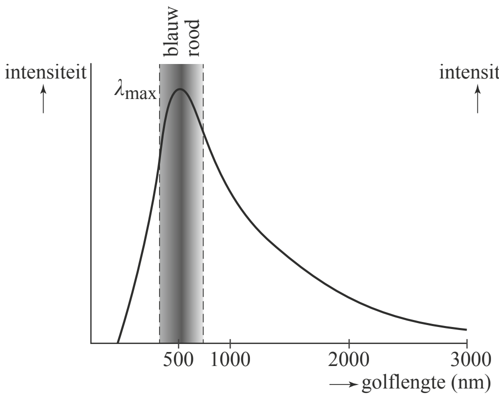
	ster Proxima Centauri	**planeet Proxima b**
massa	$M_{Centauri} = 0{,}123 \cdot M_{zon}$	$M_b = 1{,}3 \cdot M_{aarde}$
straal van het hemellichaam	$r_{Centauri} = 0{,}141 \cdot r_{zon}$	$r_b = 1{,}2 \cdot r_{aarde}$
temperatuur aan het oppervlak	3042 K ± 117 K	
afstand tot de aarde	4,22 lichtjaar	
afstand tot de ster		$7{,}0 \cdot 10^6$ km

De kans op leven op een exoplaneet is groter als de valversnelling aan het oppervlak vergelijkbaar is met de valversnelling op aarde (g_{aarde}).

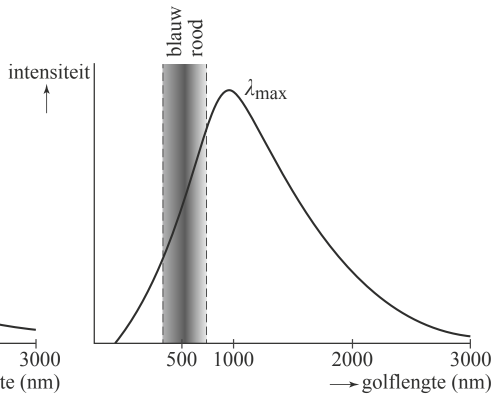
4p **25** Bereken de valversnelling op Proxima b uitgedrukt in g_{aarde}.

De kleur van een ster hangt af van zijn temperatuur. Een ster zendt straling met veel golflengtes uit. In figuren 4 en 5 zijn twee diagrammen weergegeven; één voor de zon en één voor Proxima Centauri. In ieder diagram is de intensiteit van de uitgezonden straling uitgezet tegen de golflengte van die straling. De verticale schaalverdeling is niet gelijk in beide figuren.

figuur 4



figuur 5



4p **26** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit welke figuur bij Proxima Centauri hoort. Vergelijk hiertoe de temperaturen aan het oppervlak van de zon en Proxima Centauri.
- Leg uit of Proxima Centauri roder of blauwer is dan de zon.

Proxima Centauri is na de zon de ster die het dichtst bij de aarde staat. Er bestaat een plan om een onbemand ruimteschip met grote snelheid naar deze ster te sturen: project Breakthrough Starshot.
In het plan legt het ruimteschip de reis af met een gemiddelde snelheid van 15% van de lichtsnelheid.

3p **27** Bereken de tijd in jaren dat de reis naar Proxima Centauri dan zou duren.

Hints bij examen 2019-II

1 Zie Binas 25A.

2 Vergelijk de eigenschappen van β- en γ-straling.

3 Zie voor de grootheden *Z* en *A*: Binas 4.

4 Maak gebruik van de formule voor de kinetische energie.

5 Bereken eerst het aantal protonen dat door de versneller in 70 uur wordt afgeschoten.

6 – Bedenk of je hiervoor lijn I of lijn II moet gebruiken.
– Waar wordt het verschil tussen lijn I en lijn II door veroorzaakt?

7 – Zie Binas 35D1.
– Wat geldt voor de spanning in een parallelschakeling?

8 Wat is het verband tussen *Q*, *m*, *c* en ΔT?

9 Zal het water onder de weerstanden opgewarmd worden?

10 Bij temperatuurtoename gaat er meer energie in dan uit.

11 Zie voor de warmtegeleidingscoëfficiënten: Binas 8.

12 Bereken het energieverlies per seconde $P_{isolatie}$ met gebruikmaking van de gegevens.

13 Wat gebeurt er met de snelheid van de pod in deel II?

14 Hoe bepaal je de afstand in een (*v*,*t*)-diagram?

15 – Hoe hangt *F* af van *v* ?
– De motoren van de trein en van de pod leveren een even groot vermogen.

16 – Wat is het verband tussen F_{mpz}, *m*, *v* en *r* ?
– Wat is het verband tussen *s*, *F* en *A*?

17 Neem voor de veerkracht het verschil tussen de zwaartekracht op een beladen pod en de zwaartekracht op een lege pod.

18 Maak een schatting van de lengte van het traject met behulp van figuur 5.

19 Maak gebruik van de regel voor de stroomsterkte in een serieschakeling.

20 Zie voor het rendement Binas 35A4.

21 Hoe vaak wordt de lat belicht gedurende de opnametijd?

22 Wat is het verband tussen *E*, *P* en *t* ?

23 Gebruik minstens drie schommelingen voor de bepaling.

24 Het zwaartepunt *Z* ligt tussen s en p in.

25 De zwaartekracht F_z is gelijk aan de gravitatiekracht F_g.

26 – Hoe luidt de wet van Wien?
– Zendt de straler van figuur 5 meer of minder rood dan blauw uit?

27 Zie voor de gemiddelde snelheid Binas 35A1.

©ThiemeMeulenhoff

Uitwerkingen bij examen 2019-II

Koper-67

3p **1** $^{67}_{29}\text{Cu} \;\rightarrow\; ^{67}_{30}\text{Zn} + ^{\;\,0}_{-1}\text{e} + ^{0}_{0}\gamma$

- *Koper-67 heeft atoomnummer 29, dus: $^{67}_{29}$ Cu (Binas 25A, 40A of 99).*
- *Bij het verval komen β-straling (elektron, $^{\;\,0}_{-1}$ e) en γ-straling (foton, $^{0}_{0}$ γ) vrij.* [1p]
- *Links en rechts van de → moet de som van de atoomnummers gelijk zijn. De kern die bij dit verval ontstaat, heeft dus atoomnummer 29 – (–1 + 0) = 30.*
  Dit is het element zink (Zn) (Binas 25A, 40A of 99). [1p]
- *Links en rechts van de → moet de som van de massagetallen gelijk zijn. Het massagetal van de zinkkern is dus 67 – (0 + 0) = 67.* [1p]

2p **2** – De vrijkomende γ-straling heeft een groot doordringend vermogen. Deze straling zal het lichaam dus makkelijk kunnen verlaten ⇒
⇒ de γ-straling kan gebruikt worden voor beeldvorming van tumorweefsel. [1p]
– De vrijkomende β-straling en γ-straling hebben een ioniserend vermogen ⇒
⇒ de β-straling en/of de γ-straling kunnen gebruikt worden voor de behandeling van tumorweefsel. [1p]

2p **3** In figuur 1 lees je af dat de nieuwe kern x twee protonen (Z_x = 31) meer heeft dan de koperkern (Z_{Cu} = 29) ⇒ de kern van het andere vervaldeeltje heeft twee protonen (Z = 2) ⇒ dit is een heliumkern (He, Binas 25A, 40A of 99). [1p]
Verder lees je af dat de nieuwe kern x vier nucleonen (A_x = 71) meer heeft dan de koperkern (A_{Cu} = 67) ⇒ de kern van het andere vervaldeeltje bevat vier nucleonen (A = 4) ⇒ het andere deeltje dat vrijkomt is het heliumisotoop $^{4}_{2}$He ofwel α-straling. [1p]

3p **4** Bepaal de snelheid v die de protonen moeten hebben om de kans op succes zo groot mogelijk te maken met:

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (Binas 35A4) ⇒ $v^2 = \frac{2 \cdot E_k}{m}$ ⇒ $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}}$ [1p], waarin:

E_k = kinetische energie van de protonen met de grootste kans op succes
Lees bij het maximum in figuur 2 af: protonenenergie = 15 MeV,
zodat: $E_k = 15\text{ MeV} = 15 \cdot 10^6\text{ eV} = 15 \cdot 10^6 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J [1p] (Binas 5)
m = massa van een proton = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg (Binas 7B)

Invullen: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = 5{,}4 \cdot 10^7\text{ m s}^{-1}$ [1p]

3p **5** Bereken het aantal protonen n_1 dat gemiddeld moet worden afgeschoten om één Cu-67 deeltje te produceren met: $n_1 = \frac{n_{tot}}{n_{Cu}}$, waarin:

n_{tot} = totaal aantal protonen dat in 70 uur door de versneller wordt afgeschoten

Er geldt: $n_{tot} = \frac{Q}{e_p} = \frac{I \cdot t}{e_p}$ [1p] (Binas 35D1), met:

Q = totale lading die in 70 uur door de versneller wordt geproduceerd
I = protonen-stroomsterkte = 43 µA = $43 \cdot 10^{-6}$ A = $43 \cdot 10^{-6}\text{ C s}^{-1}$
t = tijdsduur = 70 h = 70 · 3600 s
e_p = lading van één proton = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C (Binas 7A)

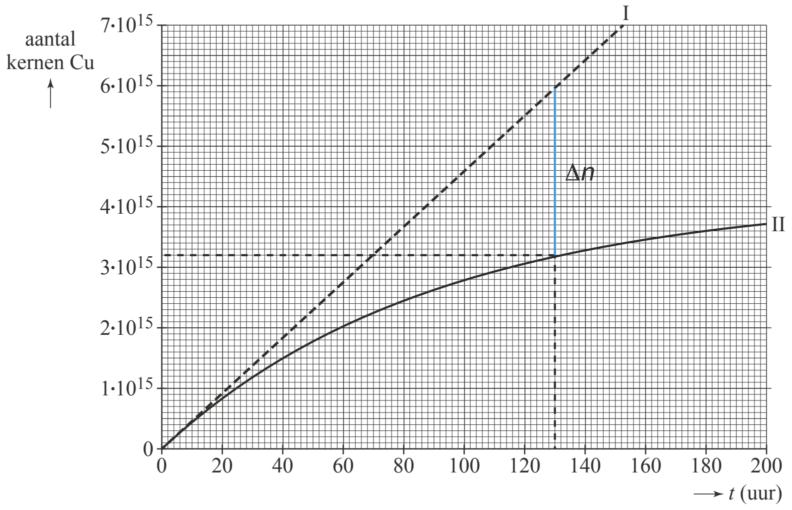
zodat: $n_{tot} = \frac{43 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \cdot 3600}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 6{,}77 \cdot 10^{19}$ [1p]

n_{Cu} = aantal Cu-67 kernen dat in 70 uur wordt geproduceerd = $3{,}2 \cdot 10^{15}$

Invullen: $n_1 = \frac{6{,}77 \cdot 10^{19}}{3{,}2 \cdot 10^{15}} = 2{,}1 \cdot 10^4$ [1p]

©ThiemeMeulenhoff

3p **6** Zie de tekening (de ingevulde figuur 3).



- Bij lijn II lees je af:
  De productie van $3{,}2 \cdot 10^{15}$ koperkernen duurt in de praktijk: t = 130 h [1p]
- Het aantal koperkernen Δn dat tijdens de productie vervalt is gelijk aan het verschil in aantal koperkernen tussen lijn I en lijn II op t = 130 h [1p] ⇒
  ⇒ $\Delta n = 6{,}0 \cdot 10^{15} - 3{,}2 \cdot 10^{15} = 2{,}8 \cdot 10^{15}$ [1p]

Buisisolatie

4p **7** – Zie Binas tabel 35D1:

$P = U \cdot I$
$U = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{U}{R}$ [1p] $\Big\}$ ⇒ $P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$ [1p]

– Voor de spanning U die nodig is om de weerstanden op maximaal vermogen te laten werken, geldt: $U = U_1 = U_2$ [1p] (parallelschakeling, Binas 35D1).

De spanning U volgt uit: $P = \frac{U^2}{R}$ ⇒ $U = \sqrt{P \cdot R}$, waarin:

P = maximaal vermogen van één weerstand = 20 W
R = weerstand = 27 Ω
Invullen: $U = \sqrt{20 \cdot 27} = 23$ V [1p]

4p **8** De tijd t die minimaal nodig is om het water te verwarmen tot 75 °C volgt uit:
afgegeven warmte = opgenomen warmte ⇒

⇒ $Q = P \cdot t$ [1p] $= c \cdot m \cdot \Delta T$ [1p] (Binas 35D1 en 35C4) ⇒ $t = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{P}$, waarin:

Q = benodigde warmte
P = geleverde vermogen door beide weerstanden = 2 · 20 W = 40 W
c = soortelijke warmte van water = $4{,}18 \cdot 10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$ (Binas 11)
m = massa van het water = 26 g = $26 \cdot 10^{-3}$ kg
ΔT = temperatuurtoename van het water = (75 – 18) °C [1p] = 57 °C (= 57 K)

Invullen: $t = \frac{4{,}18 \cdot 10^3 \cdot 26 \cdot 10^{-3} \cdot 57}{40} = 1{,}5 \cdot 10^2$ s [1p]

©ThiemeMeulenhoff

1p **9** De weerstanden zijn niet helemaal onder in de buis geplaatst. Onder de weerstanden is er geen stroming, dus het water onder de weerstanden zal nauwelijks worden opgewarmd. Er wordt dus een kleinere hoeveelheid water opgewarmd.
Uit $P \cdot t = c \cdot m \cdot \Delta T$ volgt dat bij gelijkblijvende P, c en ΔT maar kleinere m, de tijd t korter wordt $\Rightarrow$ de thermometer zal eerder een temperatuur van 75 °C aangeven.

2p **10**

tijdstip	$P_{elektrisch} > P_{verlies}$	$P_{elektrisch} = P_{verlies}$	$P_{elektrisch} < P_{verlies}$
t_1	X		
t_2	X		
t_3		X	

[3 goed 2p, 2 goed 1p, 1 goed 0p]
Zolang de temperatuur van het water toeneemt, zal het water per seconde meer energie opnemen dan afstaan. In figuur 3 zie je dat zowel op tijdstip t_1 als op tijdstip t_2 de temperatuur van het water stijgt $\Rightarrow$ $P_{elektrisch} > P_{verlies}$
Zodra de temperatuur constant blijft, zal het water per seconde evenveel energie opnemen als afstaan (er is evenwicht). In figuur 3 zie je dan een horizontale lijn.
Dit is het geval op tijdstip t_3 $\Rightarrow$ $P_{elektrisch} = P_{verlies}$

2p **11** De grootheden A (= oppervlakte van de buis), ΔT (= temperatuurverschil over de buiswand) en d (= dikte van de wand) blijven gelijk in de formule $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$.
Bij identiek gevormde buizen geldt dan:
P_{koper} = constante $\cdot \lambda_{koper}$
P_{ijzer} = constante $\cdot \lambda_{ijzer}$
In Binas tabel 8 lees je af dat de warmtegeleidingscoëfficiënt λ van koper veel groter is dan die van ijzer [1p] $\Rightarrow$ het warmteverlies is bij een koperen buis veel groter dan bij een identiek gevormde ijzeren buis. [1p]

3p **12** Bereken de factor n waarmee $P_{verlies}$ verkleind wordt door de buisisolatie met:
$n = \frac{P_{verlies}}{P_{isolatie}}$ [1p], waarin:
$P_{verlies}$ = energieverlies per seconde zonder isolatie = 27 W
$P_{isolatie}$ = energieverlies per seconde met isolatie

Er geldt: $P_{isolatie} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ [1p], met:

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt van de isolatie = 0,038 W m^{-1} K^{-1}
A = oppervlakte van de isolatie = $4{,}9 \cdot 10^{-2}$ m^2
ΔT = temperatuurverschil over de isolatie = 57 °C (= 57 K)
d = isolatiedikte = 13 mm = $13 \cdot 10^{-3}$ m

zodat: $P_{isolatie} = 0{,}038 \cdot 4{,}9 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{57}{13 \cdot 10^{-3}} = 8{,}16$ W

Invullen: $n = \frac{27}{8{,}16} = 3{,}3$ [1p]

©ThiemeMeulenhoff

Hyperloop

2p **13** In figuur 2 zie je dat bij deel II de snelheid van de pod afneemt. [1p] Er moet dus nog een tegenwerkende resulterende kracht op de pod werken. De motor is uitgeschakeld, dus de resulterende kracht moet de wrijvingskracht zijn. [1p]

3p **14** De totaal afgelegde weg s_{tot} van de pod uit het model is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram van figuur 2. [1p]
Er geldt: $s_{tot} = s_I + s_{II} + s_{III}$, waarin:
s_I = oppervlakte onder het (v,t)-diagram bij deel I = $\frac{1}{2} \cdot 4{,}0 \cdot 125 = 250$ m
s_{II} = oppervlakte onder het (v,t)-diagram bij deel II =
$= (12{,}0 - 4{,}0) \cdot \left(\frac{125 + 120}{2}\right) = 8{,}0 \cdot 122{,}5 = 980$ m
s_{III} = oppervlakte onder het (v,t)-diagram bij deel III = $\frac{1}{2} \cdot (18{,}0 - 12{,}0) \cdot 120 = 360$ m
Invullen: $s_{tot} = 250 + 980 + 360 = 1{,}6 \cdot 10^3$ m = 1,6 km [1p]
Het testtraject van 1,7 km is dus lang genoeg voor de test met de pod uit het model. [1p]

Het testtraject bij I, II en III kan ook worden bepaald met $\Delta x = v_{gem} \cdot \Delta t$ (Binas 35A1).

2p **15** – Bij gelijke dichtheid van de lucht in de buis en buiten de buis zou de luchtweerstand op de pod (met $v = 1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}) ten opzichte van de luchtweerstand op de trein (met $v = 1{,}2 \cdot 10^2$ km h^{-1}):

$1 \cdot 10^3$	keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^2$	keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^1$	keer zo klein zijn
	gelijk zijn
$1 \cdot 10^1$	keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^2$	**keer zo groot zijn**
$1 \cdot 10^3$	keer zo groot zijn

– Als de pod (met $v = 1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}) en de trein (met $v = 1{,}2 \cdot 10^2$ km h^{-1}) met gelijk motorvermogen moeten worden aangedreven, moet de dichtheid van de lucht in de buis vergeleken met de buitenlucht:

$1 \cdot 10^3$	**keer zo klein zijn**
$1 \cdot 10^2$	keer zo klein zijn
$1 \cdot 10^1$	keer zo klein zijn
	gelijk zijn
$1 \cdot 10^1$	keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^2$	keer zo groot zijn
$1 \cdot 10^3$	keer zo groot zijn

©ThiemeMeulenhoff

De snelheid van de pod v_{pod} is 10 × zo groot als de snelheid van de trein v_{trein}.
– *De luchtweerstand wordt berekend met $F_{w,lucht} = k \cdot \rho \cdot v^2$.*
k en ρ zijn voor de pod en de trein gelijk.
Dat betekent dat $F_{w,pod} : F_{w,trein} = v_{pod}^2 : v_{trein}^2 = 10^2 : 1^2 \Rightarrow$
$\Rightarrow F_{w,pod}$ is $1 \cdot 10^2$ keer zo groot als $F_{w,trein}$. [1p]
– *Het motorvermogen wordt berekend met $P_{motor} = F_w \cdot v$. Omdat $P_{pod} = P_{trein}$ geldt:*
$F_{w,pod} \cdot v_{pod} = F_{w,trein} \cdot v_{trein} \Rightarrow (k \cdot \rho_{L,buis} \cdot v_{pod}^2) \cdot v_{pod} = (k \cdot \rho_{L,buiten} \cdot v_{trein}^2) \cdot v_{trein} \Rightarrow$
$\Rightarrow k \cdot \rho_{L,buis} \cdot v_{pod}^3 = k \cdot \rho_{L,buiten} \cdot v_{trein}^3$
Gebruik dat k in beide gevallen gelijk is, en dat $v_{pod} = 10 \cdot v_{trein} \Rightarrow$
$\Rightarrow \rho_{L,buis} \cdot 10^3 \cdot v_{trein}^3 = \rho_{L,buiten} \cdot v_{trein}^3 \Rightarrow \rho_{L,buis} \cdot 10^3 = \rho_{L,buiten}$
$\rho_{L,buis}$ moet dus $1 \cdot 10^3$ keer zo klein zijn als $\rho_{L,buiten}$. [1p]

4p **16** – Bereken de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} op één massa met:

$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ [1p] (Binas 35A2), waarin:

m = één massa = 2,5 kg

v = baansnelheid = $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1} = $1{,}2 \cdot 10^3 \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{60 \cdot 60 \text{ s}}$ = 333 m s^{-1}

r = straal = 22,5 cm = $22{,}5 \cdot 10^{-2}$ m

Invullen: $F_{mpz} = \frac{2{,}5 \cdot 333^2}{22{,}5 \cdot 10^{-2}} = 1{,}2 \cdot 10^6$ N

– Bereken de benodigde treksterkte σ van de spaak met:

$\sigma = \frac{F}{A}$ [1p] (Binas 35A6), waarin:

F = trekkracht = $F_{mpz} = 1{,}2 \cdot 10^6$ N
A = oppervlakte van de doorsnede van een spaak = 15 cm^2 = $15 \cdot 10^{-4}$ m^2

Invullen: $\sigma = \frac{1{,}2 \cdot 10^6}{15 \cdot 10^{-4}} = 8{,}0 \cdot 10^8$ N m^{-2} = $8{,}0 \cdot 10^8$ Pa [1p]

Volgens Binas tabel 8 of ScienceData blz. 40 ligt de maximale treksterkte voor aluminium tussen $0{,}4 \cdot 10^8$ en $0{,}5 \cdot 10^8$ Pa ⇒ de spaak is niet sterk genoeg. [1p]

3p **17** Voor de uitrekking van een veer met veerconstante C geldt:

$F = C \cdot u$ [1p] (Binas 35A3) ⇒ $C = \frac{F}{u}$, waarin:

F = veerkracht = $F_{z,beladen} - F_{z,leeg} = m_{beladen} \cdot g - m_{leeg} \cdot g$ (Binas 35A3) =
= $(m_{beladen} - m_{leeg}) \cdot g$ [1p], met:
$F_{z,beladen}$ = zwaartekracht op een beladen pod
$F_{z,leeg}$ = zwaartekracht op een lege pod
$m_{beladen}$ = massa van een beladen pod = $1{,}30 \cdot 10^3$ kg
m_{leeg} = massa van een lege pod = $8{,}0 \cdot 10^2$ kg
g = valversnelling = 9,81 m s^{-2} (Binas 7A)
zodat: $F = (1{,}30 \cdot 10^3 - 8{,}0 \cdot 10^2) \cdot 9{,}81 = 4{,}9 \cdot 10^3$ N
u = uitrekking van de veer = 7,0 – 4,0 = 3,0 cm = $3{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

Invullen: $C = \frac{4{,}9 \cdot 10^3}{3{,}0 \cdot 10^{-2}} = 1{,}6 \cdot 10^5$ N m^{-1} [1p]

3p **18** Bepaal de verwachte tijdwinst Δt met: $\Delta t = t_{trein} - t_{pod}$, waarin:
t_{trein} = duur van de treinreis = 6,0 uur
t_{pod} = duur van de reis met de pod

Er geldt: $s = v_{pod} \cdot t_{pod}$ [1p] (Binas 35A1) ⇒ $t_{pod} = \frac{s}{v_{pod}}$, met:

s = afstand van het traject
In figuur 5 meten we op: lengte traject = 6,0 cm
Voor de schaalverdeling geldt: 2,0 cm komt overeen met 200 km

Er geldt dus: $s = \frac{6{,}0 \text{ cm}}{2{,}0 \text{ cm}} \cdot 200$ km = $6{,}0 \cdot 10^2$ km [1p]

v = snelheid van de pod = $1{,}2 \cdot 10^3$ km h^{-1}

zodat: $t_{pod} = \frac{6{,}0 \cdot 10^2}{1{,}2 \cdot 10^3}$ h = 0,50 h

Invullen: Δt = 6,0 – 0,50 = 5,5 h [1p]

PWM

3p **19** Algemeen geldt voor een serieschakeling met twee weerstanden R_1 en R_3:

$\left.\begin{array}{l} I_1 = I_3 \text{ (Binas 35D1)} \\ U = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{U}{R} \text{ (Binas 35D1)} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_3}{R_3}$

De spanning wordt in een serieschakeling dus zodanig verdeeld dat over de grootste weerstand ook de grootste spanning komt te staan. [1p]
In stand 1 is de spanning over de led groter (de led brandt fel) dan in stand 2 (de led brandt zwak) [1p] ⇒ omdat weerstand R_3 constant is, moet weerstand R_1 groter zijn dan weerstand R_2. [1p]

3p **20** Voor het elektrisch rendement η van deze schakeling geldt:

$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}}$ [1p] (Binas 35A4), waarin:

P_{nuttig} = vermogen van de led = 0,52 W
P_{in} = totaal geleverd elektrisch vermogen = $U \cdot I$ [1p] (Binas 35D1), met:
U = spanning van de spanningsbron = 8,4 V
I = stroomsterkte in de schakeling = 375 mA = $375 \cdot 10^{-3}$ A
zodat: $P_{in} = 8{,}4 \cdot 375 \cdot 10^{-3} = 3{,}15$ W

Invullen: $\eta = \frac{0{,}52}{3{,}15}$ = 0,17 ofwel 17% [1p]

3p **21** Bepaal de frequentie f waarmee de led knippert met:

$f = \frac{1}{T}$ [1p] (Binas 35B1), waarin:

T = trillingstijd van de led
In de uitwerkbijlage lees je af dat de lat 23 maal [1p] door de led wordt belicht gedurende de opnametijd van 20 ms,

zodat: $T = \frac{20}{23}$ = 0,87 ms = $0{,}87 \cdot 10^{-3}$ s

Invullen: $f = \frac{1}{0{,}87 \cdot 10^{-3}} = 1{,}1 \cdot 10^3$ Hz [1p]

2p **22** De energie E_{PWM} die de accu levert in de PWM-schakeling, volgt uit:
$E_{PWM} = P_{PWM} \cdot t$ (Binas 35D1), waarin:
P_{PWM} = geleverde vermogen van de accu gedurende 3,0 ms = 4,7 W (afgelezen in figuur 6)
t = tijdsduur die de led brandt gedurende één periode = = 3,0 ms = $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ s (afgelezen in figuur 6)
Invullen: $E_{PWM} = 4{,}7 \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 1{,}4 \cdot 10^{-2}\ \text{J}$
De energie E_{serie} die de accu levert in de serieschakeling, volgt uit:
$E_{serie} = P_{serie} \cdot t$ (Binas 35D1), waarin:
P_{serie} = geleverde vermogen van de accu gedurende 9,0 ms = 3,2 W (afgelezen in figuur 6)
t = tijdsduur die de led brandt gedurende één periode = = 9,0 ms = $9{,}0 \cdot 10^{-3}$ s (afgelezen in figuur 6)
Invullen: $E_{serie} = 3{,}2 \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 2{,}9 \cdot 10^{-2}\ \text{J}$ [1p]
Er is dus minder energie nodig voor de PWM-schakeling dan voor de serieschakeling.
Daan heeft dus gelijk. [1p]

Proxima b

2p **23** In figuur 1 lees je af dat de ster 3,5 schommeling maakt in (63,5 – 22,5) dagen. [1p]
Dus de periode van één schommeling is: $\frac{63{,}5 - 22{,}5}{3{,}5} = 12$ d [1p]

1p **24** Afbeelding I is juist.
Het zwaartepunt Z moet tussen s en p liggen ⇒ de afbeeldingen II en IV vallen af.
Ster s zal veel zwaarder zijn dan planeet p, dus moet ster s veel dichter bij het zwaartepunt Z liggen dan planeet p ⇒ afbeelding I voldoet hieraan.

4p **25** *methode 1*
Bereken de valversnelling g_b op Proxima b met:
$F_z = F_g$ [1p] $\Rightarrow m \cdot g_b = G \cdot \frac{m \cdot M_b}{r_b^2}$ [1p] $\Rightarrow g_b = G \cdot \frac{M_b}{r_b^2}$ (Binas 35A3 en 35A5), waarin:
F_z = zwaartekracht aan het oppervlak van Proxima b
F_g = gravitatiekracht
m = een massa aan het oppervlak van Proxima b
G = gravitatieconstante = $6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$ (Binas 7A)
M_b = massa van Proxima b = $1{,}3 \cdot M_{aarde} = 1{,}3 \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas 31)
r_b = straal van Proxima b = $1{,}2 \cdot r_{aarde} = 1{,}2 \cdot 6{,}371 \cdot 10^{6}$ m (Binas 31)
Invullen: $g_b = 6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1{,}3 \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{(1{,}2 \cdot 6{,}371 \cdot 10^{6})^2}$ [1p] $= 8{,}86\ \text{m s}^{-2}$
Uitgedrukt in g_{aarde} geldt dan: $g_b = \frac{8{,}86}{9{,}81} \cdot g_{aarde}$ (Binas 7A) $= 0{,}90 \cdot g_{aarde}$ [1p]

methode 2
Bereken de valversnelling g_b op Proxima b met:
$F_z = F_g$ [1p] $\Rightarrow m \cdot g_b = G \cdot \frac{m \cdot M_b}{r_b^2}$ [1p] $\Rightarrow g_b = G \cdot \frac{M_b}{r_b^2}$ (Binas 35A3 en 35A5), waarin:
F_z = zwaartekracht aan het oppervlak van Proxima b
F_g = gravitatiekracht
m = een massa aan het oppervlak van Proxima b
G = gravitatieconstante
M_b = massa van Proxima b = $1{,}3 \cdot M_{aarde}$
r_b = straal van Proxima b = $1{,}2 \cdot r_{aarde}$
Invullen: $g_b = G \cdot \frac{1{,}3 \cdot M_{aarde}}{(1{,}2 \cdot r_{aarde})^2} = \frac{1{,}3}{1{,}2^2} \cdot G \cdot \frac{M_{aarde}}{r_{aarde}^2} = \frac{1{,}3}{1{,}2^2} \cdot g_{aarde}$ (Binas 35A5)
$= 0{,}90 \cdot g_{aarde}$ [1p]

4p **26** – De wet van Wien luidt: $\lambda_{max} \cdot T = k_W$ (Binas 35E2)
Voor de temperatuur T_{PC} aan het oppervlak van Proxima Centauri geldt:
$T_{PC} = 3042$ K
Voor de temperatuur T_{zon} aan het oppervlak van de zon geldt:
$T_{zon} = 5{,}78 \cdot 10^3$ K (Binas 32B)
Dus $T_{PC} < T_{zon}$ ⇒ uit de wet van Wien volgt dan: $\lambda_{max,PC} > \lambda_{max,zon}$ [1p]
In figuur 5 ligt het maximum van de grafiek bij een grotere golflengte dan in figuur 4 ⇒ figuur 5 hoort bij Proxima Centauri. [1p]
– In figuur 5 is af te lezen dat op Proxima Centauri relatief meer rood licht dan blauw licht wordt uitgezonden. [1p]
De zon (figuur 4) zendt ongeveer evenveel rood als blauw licht uit.
Proxima Centauri zal dus roder zijn dan de zon. [1p]

3p **27** *methode 1*
Bereken de tijd Δt die de reis naar Proxima Centauri zou gaan duren met:
$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ [1p] (Binas 35A1) $\Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v_{gem}}$, waarin:
v_{gem} = gemiddelde snelheid van het ruimteschip = 15% van de lichtsnelheid = = $0{,}15 \cdot c = 0{,}15 \cdot 3{,}00 \cdot 10^8\ \text{m s}^{-1}$ (Binas 7A)
Δx = af te leggen weg = 4,22 lichtjaar = $4{,}22 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15}$ m [1p] (Binas 5)
Invullen: $\Delta t = \frac{4{,}22 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15}}{0{,}15 \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}} = 8{,}87 \cdot 10^8\ \text{s} = \frac{8{,}87 \cdot 10^8}{3{,}15 \cdot 10^7}$ y (Binas 5) = 28 y [1p]
methode 2
Bereken de tijd Δt die de reis naar Proxima Centauri zou gaan duren met:
$c \cdot t_{licht} = v_{gem} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{c \cdot t_{licht}}{v_{gem}}$ [1p] (Binas 35A1), waarin:
c = snelheid van het licht
t_{licht} = tijd die licht nodig heeft om van de aarde naar Proxima Centauri te komen = 4,22 y [1p]
v_{gem} = gemiddelde snelheid van het ruimteschip = $0{,}15 \cdot c$
Invullen: $\Delta t = \frac{c \cdot 4{,}22}{0{,}15 \cdot c} = 28$ y [1p]

Oefenen met het examen van 2021-I.
De antwoorden en uitwerkingen vind je op mijn.examenbundel.nl.

Deel 2b Examen zonder uitwerkingen

Bronvermelding
Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift op mijn.examenbundel.nl.

Examen 2021-I

Lassen

Voor deze opgave moet je gebruikmaken van de tabel met stofeigenschappen van ijzer in figuur 1.

figuur 1

stofeigenschap	**waarde**
dichtheid	$7{,}87 \cdot 10^{3}$ kg m^{-3}
elasticiteitsmodulus	$2{,}20 \cdot 10^{11}$ Pa
smeltpunt	$1{,}811 \cdot 10^{3}$ K
soortelijke warmte	$0{,}46 \cdot 10^{3}$ J kg^{-1} K^{-1}
soortelijke weerstand	$1{,}05 \cdot 10^{-7}$ Ω m
treksterkte	$3{,}5 \cdot 10^{8}$ Pa
warmtegeleidingscoëfficiënt	80,3 W m^{-1} K^{-1}

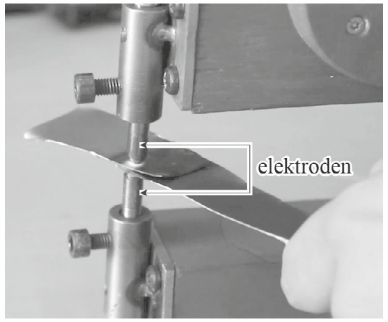
Lassen is een techniek om metalen delen aan elkaar te bevestigen. Dit kan door die delen met een brander zo te verhitten dat op de plek van de verhitting het materiaal van beide delen smelt en vervolgens na afkoeling tot één geheel samen vast wordt. Zie figuur 2. Deze plek wordt een ‘las’ genoemd.

figuur 2

1p **1** Hoe heet de tweede faseovergang in het beschreven lasproces?
- **A** bevriezen
- **B** condenseren
- **C** stollen
- **D** sublimeren

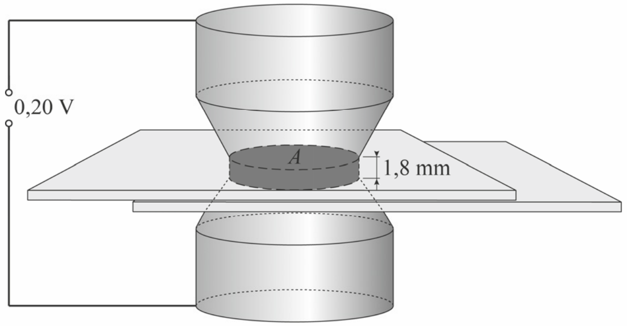
Het smeltpunt kan ook bereikt worden door een elektrische stroom door de metalen delen te laten lopen. Hiervoor wordt een puntlasapparaat gebruikt. Een puntlasapparaat levert een hoge stroomsterkte bij een lage spanning over twee elektroden. Twee plaatjes ijzer worden met een puntlasapparaat aan elkaar gelast. Zie figuur 3. De plaatjes worden op elkaar gelegd en krachtig op elkaar gedrukt door de twee elektroden.

figuur 3

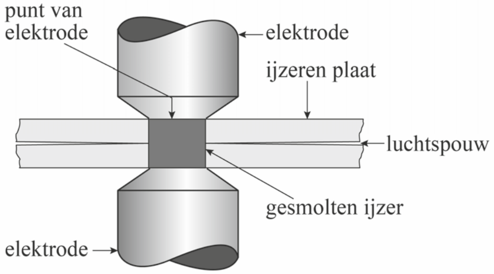


Als de elektroden tegen de plaatjes worden gedrukt gaat er een stroom I door het ijzer tussen de elektroden lopen. Het ijzer tussen de elektroden is bij benadering cilindervormig. Zie figuur 4a. De ijzeren plaatjes tussen de elektroden zijn samen $1{,}8\ \text{mm}$ dik en raken elkaar alleen tussen de elektroden. De oppervlakte A waarmee de ijzeren plaatjes elkaar raken, is $6{,}4\cdot10^{-5}\ \text{m}^2$; deze is even groot als de oppervlakte van de punt van een elektrode. Zie figuur 4a en 4b.

figuur 4a



figuur 4b



Over de plaatjes staat een spanning van $0{,}20\ \text{V}$. De stroomsterkte door het ijzer is op dat moment gelijk aan $68\ \text{kA}$.

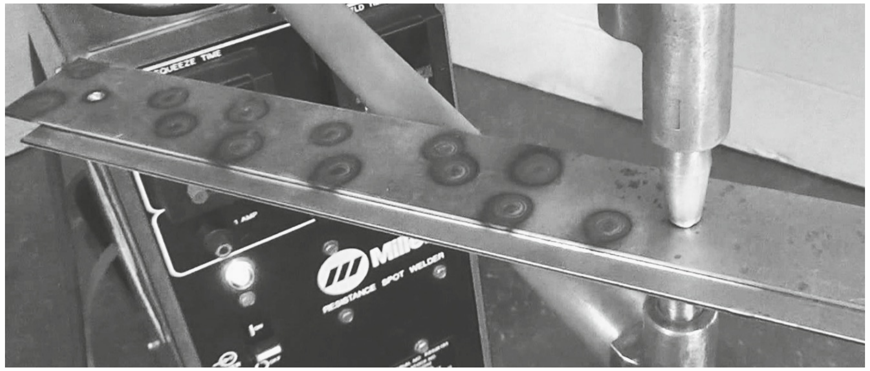
3p **2** Toon dat aan met een berekening.

De massa van het cilindervormige deel ijzer tussen de elektroden is $9{,}1\cdot10^{-4}\ \text{kg}$. Het ijzer heeft een begintemperatuur van $20\ °\text{C}$.
Van de warmte die ontstaat tussen de elektroden wordt 15% gebruikt om het ijzer tussen de elektroden tot het smeltpunt te verhitten.
De weerstand van het ijzer tussen de elektroden wordt als constant beschouwd.

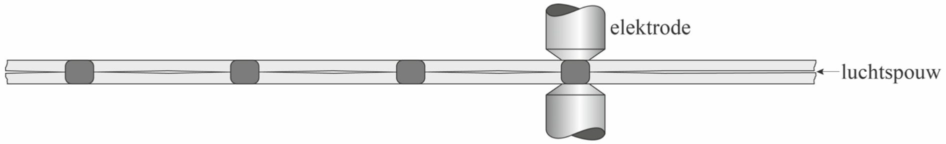
5p **3** Bereken na hoeveel tijd het ijzer begint te smelten.

Vaak worden meerdere lassen naast elkaar gemaakt. Zie figuur 5 en schematisch in figuur 6. De elektrische spanning over de elektroden is voor iedere las even groot.

figuur 5



figuur 6



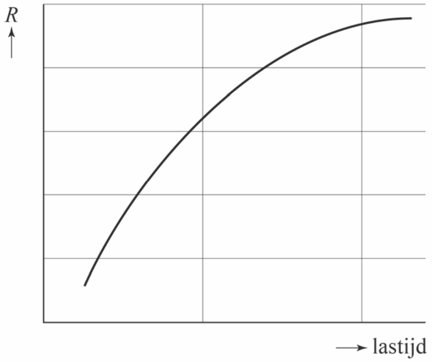
De platen raken elkaar alleen op de lassen. Zie figuur 6.

2p **4** Leg uit of de stroomsterkte door de elektroden tijdens het maken van meerdere lassen naast elkaar groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.

In werkelijkheid blijft de weerstand van het ijzer tussen de elektroden niet constant gedurende het vormen van een las (de 'lastijd'). Zie figuur 7.

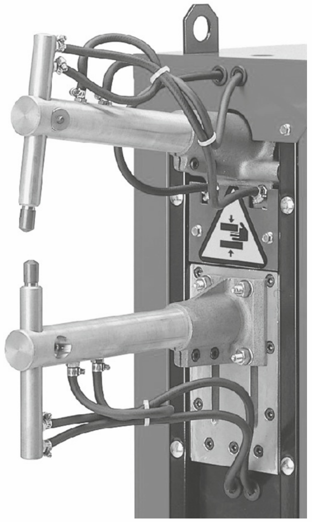
2p **5** Leg met behulp van figuur 7 uit of ijzer een PTC-materiaal of een NTC-materiaal is.

figuur 7



De koperen elektroden worden heet tijdens het lassen. Ze moeten daarom gekoeld worden door er met slangen water doorheen te pompen. Zie figuur 8.

figuur 8

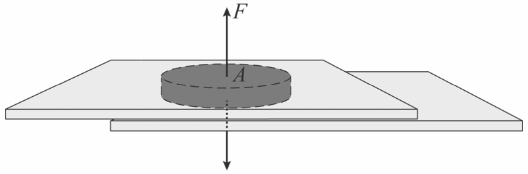


Op de uitwerkbijlage staan drie stellingen over het heet worden van de elektroden.

2p **6** Geef op de uitwerkbijlage per stelling met een kruisje aan of deze waar of niet waar is.

Als de las is afgekoeld zijn de ijzeren plaatjes op die plek tot één geheel met elkaar verbonden. De oppervlakte A van de las is $6{,}4 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}^2$.
Op de las kan een trekkracht F uitgeoefend worden. Zie figuur 9.

figuur 9

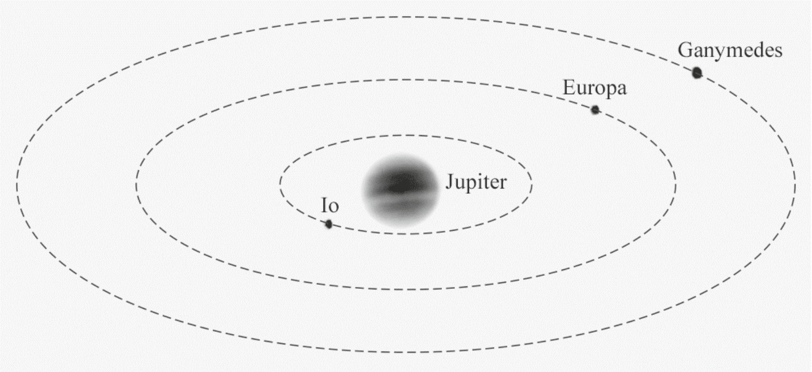


2p **7** Bereken de maximale trekkracht F op de las zonder dat de las breekt.

De maan Europa

De planeet Jupiter heeft meerdere manen. Zie figuur 1. Deze figuur is niet op schaal. Een van deze manen heet Europa. Gegevens over de maan Europa zijn te vinden in Binas-tabel 31 of Sciencedata-tabel 3.3a.

figuur 1



De straal van de baan van Europa is $670{,}9 \cdot 10^6$ m.

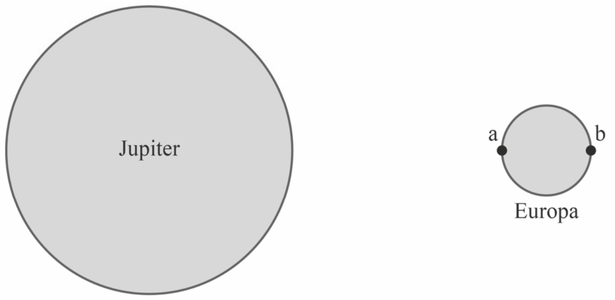
3p **8** Bereken de baansnelheid van Europa rond Jupiter.

De oppervlaktetemperatuur van Europa is 173 K. Dit is bepaald door λ_{max} te meten van het infraroodspectrum dat deze maan uitzendt.

3p **9** Bereken de frequentie die hoort bij deze λ_{max}.

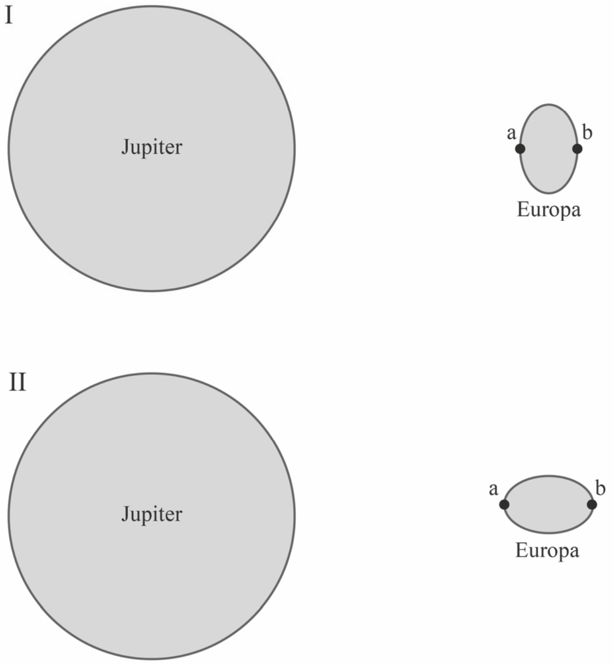
Sommige wetenschappers denken dat de temperatuur onder het oppervlak van Europa veel hoger is dan 173 K. Hun verklaring hiervoor is de voortdurende verandering van de gravitatiekracht op de maan Europa. In figuur 2 zijn Jupiter en Europa getekend. Deze figuur is niet op schaal. Op de maan Europa zijn twee punten gemarkeerd met ‘a’ en ‘b’.

figuur 2



De gravitatiekracht die Jupiter op Europa uitoefent is in punt a niet even groot als in punt b. Hierdoor wordt Europa een beetje vervormd. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.

figuur 3

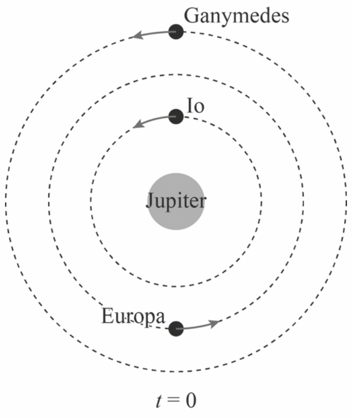


2p **10** Beredeneer met behulp van de formule voor de gravitatiekracht welke figuur (I of II) de vervorming van Europa het best weergeeft.

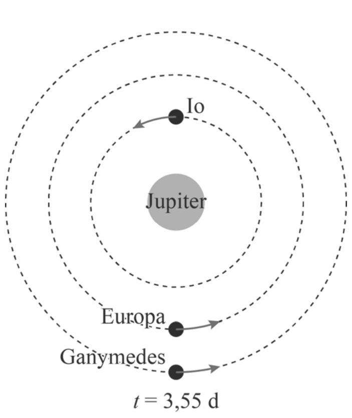
Behalve Jupiter oefenen ook de manen Ganymedes en Io een (kleine) gravitatiekracht uit op Europa. Omdat deze drie manen ten opzichte van elkaar in beweging zijn, veranderen deze gravitatiekrachten steeds. De wetenschappers denken dat de maan Europa zo ‘gekneed’ wordt. Hierbij zou dan warmte ontstaan waardoor de temperatuur in het inwendige van Europa kan stijgen.

In figuur 4 is de stand van de drie manen op een bepaald moment $t = 0$ weergegeven. Neem aan dat Jupiter stilstaat en dat de drie manen in een cirkelbaan in de aangegeven richting bewegen. Op $t = 3{,}55$ d heeft de maan Io 2,0 omwentelingen om Jupiter gemaakt en is de stand zoals in figuur 5. Figuur 4 en 5 zijn niet op schaal.

figuur 4



figuur 5



Vergelijk de resulterende kracht op (het zwaartepunt van) Europa in figuur 5 met die in figuur 4.

1p **11** Welke uitspraak is waar?

A De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is kleiner dan die in figuur 4.
B De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is even groot als die in figuur 4.
C De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is groter dan die in figuur 4.

De omlooptijden van de manen van Jupiter hebben een vaste verhouding tot elkaar. Er geldt:

$$T_{\text{Io}} : T_{\text{Europa}} : T_{\text{Ganymedes}} = 1:2:4$$

Figuur 4 en figuur 5 staan ook op de uitwerkbijlage.

4p **12** Teken in de derde figuur op de uitwerkbijlage de stand van de manen op $t = 5{,}32$ d. Leg je antwoord uit met behulp van een berekening.

Kitmarker

Een kitmarker is een permanente lichtbron die aan een sleutelbos gehangen kan worden. Zie figuur 1. Zo zijn sleutels in het donker terug te vinden. Een kitmarker heeft geen batterij. Het is een glazen buisje met daarin gasvormig H-3 (tritium). Tritium is een β-straler.

figuur 1

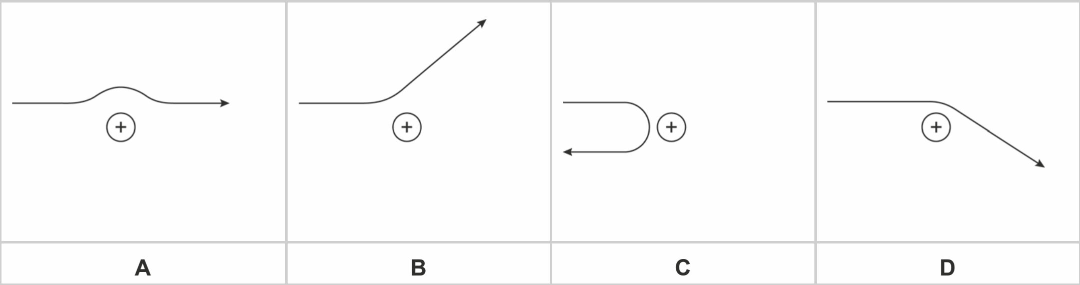
3p **13** Geef de vergelijking van de vervalreactie van tritium.

De binnenkant van de glazen buis is voorzien van een speciale verflaag. De vrijgekomen straling uit het tritiumverval zorgt ervoor dat de verflaag groenblauw licht gaat uitzenden. De fotonen van dit zichtbare licht hebben een energie van 2,5 eV.

3p **14** Bereken de frequentie van deze fotonen.

De uitgezonden β-deeltjes passeren de positieve kernen van het tritium. Hierbij verandert de richting van de baan van het β-deeltje.

1p **15** In welke figuur is een mogelijke verandering van de richting van de baan juist weergegeven?



Bij de verandering van de baan van een β-deeltje komt energie vrij. Deze energie komt vrij als een foton met een energie van $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ MeV. Dit foton wordt ook door de kitmarker uitgezonden.

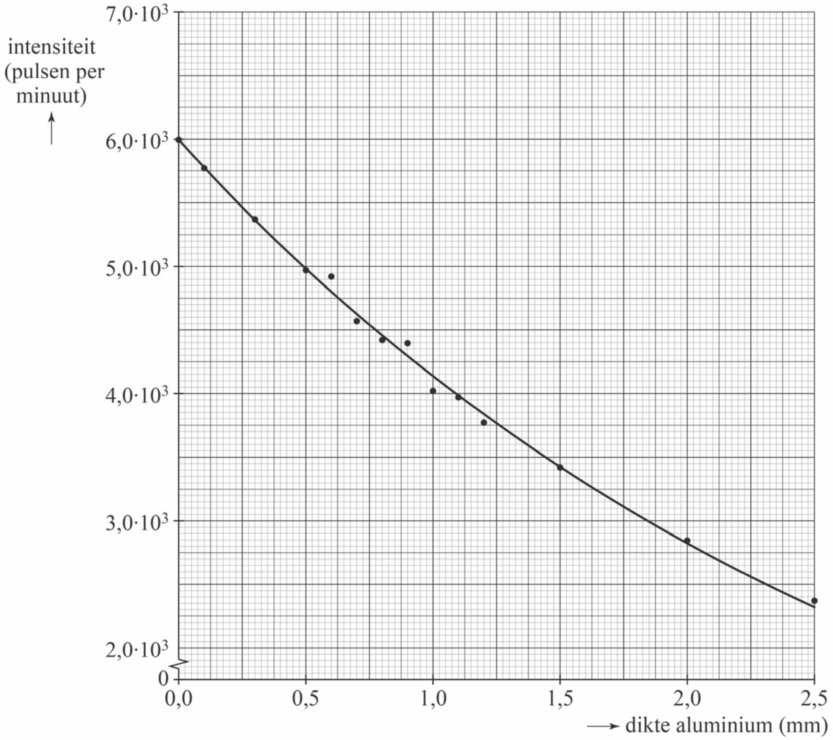
1p **16** Welke soort elektromagnetische straling is dit?
- **A** ultraviolette straling
- **B** röntgenstraling
- **C** zachte gammastraling
- **D** harde gammastraling

Sleutels worden vaak meegenomen in een broekzak. De kitmarker wordt dan langdurig tegen het lichaam gedragen. Een onderzoeker wil het risico hiervan onderzoeken. Hij wil veilig de halveringsdikte voor deze fotonen in menselijk lichaamsweefsel bepalen. In plaats van menselijk weefsel gebruikt hij aluminium en hanteert hij daarbij de volgende vuistregel:

> De halveringsdikte van menselijk lichaamsweefsel voor dit soort straling is 10 keer zo groot als de halveringsdikte van aluminium.

Achter aluminium plaatjes van diverse diktes meet de onderzoeker de intensiteit van de straling afkomstig van de kitmarker. Hij meet met een GM-teller het aantal pulsen per minuut. Zijn metingen zijn uitgezet in een diagram. Zie figuur 2.

figuur 2



Ten slotte heeft hij de achtergrondstraling bepaald. Deze is $1{,}00 \cdot 10^{3}$ pulsen per minuut. Figuur 2 is ook op de uitwerkbijlage weergegeven.

4p **17** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de halveringsdikte voor de straling van de kitmarker in menselijk lichaamsweefsel.

De onderzoeker neemt aan dat iemand de kitmarker $8{,}0$ uur per dag in zijn zak heeft. De bestraalde lichaamsmassa is $1{,}5 \cdot 10^2$ gram. Deze massa absorbeert per seconde de energie van $1{,}25 \cdot 10^3$ fotonen.
De weegfactor voor deze straling is 1. Ieder foton heeft een energie van $1{,}6 \cdot 10^{-15}$ J. De equivalente dosislimiet voor dit deel van het lichaam is 50 mSv per jaar.

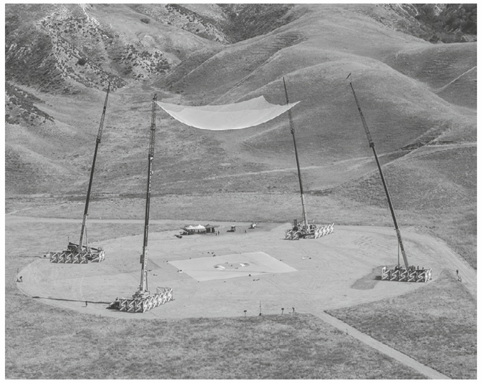
4p **18** Toon met een berekening aan of de opgelopen straling beneden de jaarlijkse equivalente dosislimiet blijft.

Sprong van Luke Aikins

In 2016 sprong skydiver Luke Aikins zonder parachute vanaf een hoogte van bijna 8 km recht naar beneden. Boven de grond was een groot net opgespannen om hem veilig op te vangen. Zie figuur 1 en 2.

figuur 1

figuur 2



Aikins ondervond een luchtweerstandskracht. Hiervoor geldt:

$$F_w = kAv^2$$

Hierin is:
- k een constante;
- A de frontale oppervlakte van Aikins;
- v de snelheid ten opzichte van de lucht.

2p **19** Leid de eenheid van k af in (grond)eenheden van het SI zoals vermeld in Binas-tabel 3a of Sciencedata-tabel 1.3a.

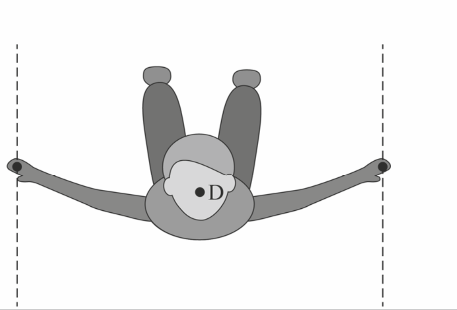
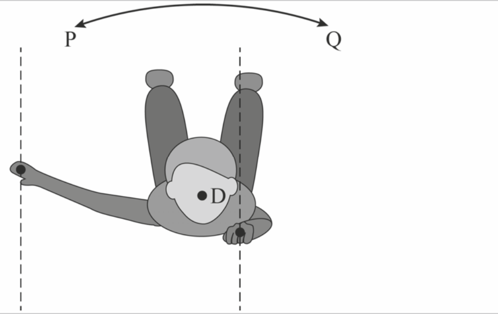
Dankzij de luchtweerstandskracht bereikte hij na verloop van tijd een constante snelheid van 54 m s^{-1}. Zijn massa is 75 kg en zijn frontale oppervlakte is $0{,}80$ m^2.

2p **20** Bereken de waarde van k.

Tijdens de laatste $1{,}0$ kilometer op weg naar het net was Aikins' valsnelheid 54 m s^{-1}. Ook was er zijwind die hem een constante horizontale snelheid zou geven van $4{,}9$ km h^{-1}. Aikins moest tijdens zijn val daarom bijsturen op weg naar het net.

4p **21** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de valtijd waarin Aikins de $1{,}0$ kilometer naar het net aflegde.
- Bereken hoe ver Aikins zou afwijken van de koers als hij niet zou bijsturen.

Een landing op de buik is gevaarlijk. Aikins moest daarom vlak voor de landing draaien. Dat deed hij door een van zijn handen dichter bij zijn lichaam te houden. In figuren 3 en 4 is dat weergegeven. Aikins wordt hierbij als stilstaand beschouwd, terwijl de bewegende lucht weerstandskracht op zijn beide handen uitoefent. Andere krachten worden niet meegenomen.

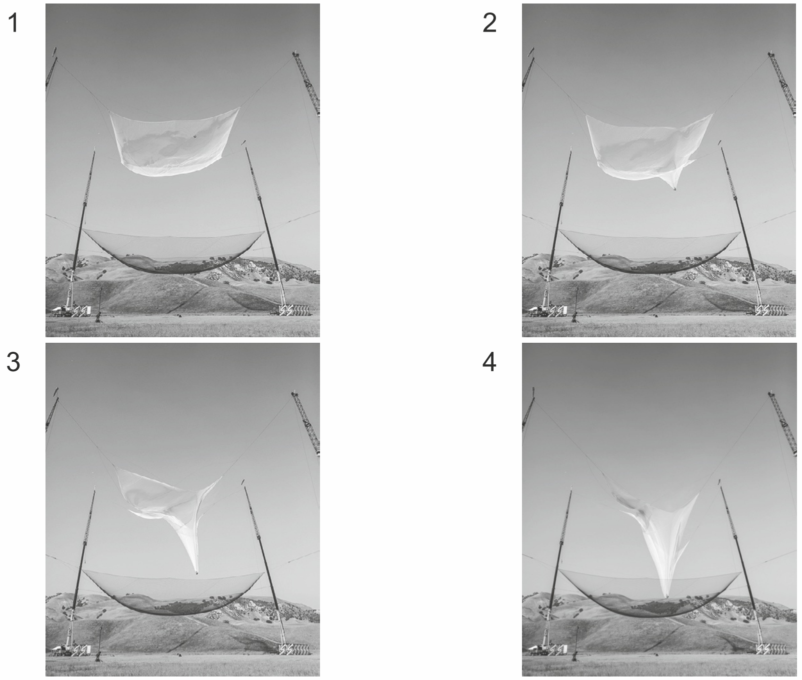
figuur 3	**figuur 4**
	
Op beide handen werken even grote luchtweerstandskrachten. De werklijnen en aangrijpingspunten van deze krachten zijn weergegeven in de figuur. Aikins is hierbij in evenwicht.	Aikins buigt één hand dichter naar zich toe. De grootte van de luchtweerstandskrachten op zijn handen blijft constant. Hierdoor ontstaat een verschil in moment links en rechts. Als gevolg van het buigen begint Aikins te draaien rondom draaipunt D, in de richting van de kracht met het grootste moment.

Op de uitwerkbijlage staan figuren 3 en 4 en twee invulzinnen.

4p **22** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken op de uitwerkbijlage in beide figuren de luchtweerstandskrachten op de handen. Teken alle krachten in de juiste onderlinge verhouding.
- Teken in beide figuren de armen die horen bij deze krachten.
- Omcirkel in iedere zin het goede antwoord.

Van de landing in het net is een videometing gemaakt. Zie figuur 5.

figuur 5



Het net remde Aikins af van $54\ \mathrm{m\,s^{-1}}$ tot stilstand. Tijdens het afremmen legde Aikins nog $37\ \mathrm{m}$ naar beneden af. Verwaarloos de arbeid door de luchtwrijvingskracht tijdens het remmen.

4p **23** Bereken de energie die het net geabsorbeerd heeft.

Het net moest aan diverse eisen voldoen om Aikins veilig tot stilstand te brengen. Op de uitwerkbijlage staat een tabel met technische ontwerpoplossingen voor het net en natuurkundige concepten die daarbij een rol spelen.

2p **24** Omcirkel bij elke ontwerpoplossing het beste bijbehorende natuurkundige concept.

Op de uitwerkbijlage staat het (v,t)-diagram van het laatste deel van de stunt van Aikins: het afremmen in het net. Ook staat op de uitwerkbijlage een tweede diagram. In dit diagram is af te lezen gedurende hoeveel tijd een mens een bepaalde vertraging veilig kan ondergaan voordat deze vertraging schadelijk wordt.

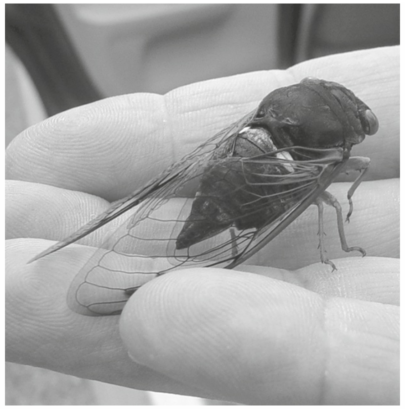
4p **25** Voer de volgende opdrachten uit met behulp van de grafieken op de uitwerkbijlage:
- Bepaal de grootte en de tijdsduur van de maximale vertraging die Aikins onderging.
- Toon aan of deze maximale vertraging veilig was voor Aikins.

Cicaden

In het bos zijn in de zomer vaak cicaden te vinden. Zie figuur 1 en 2. Figuur 2 is hier op ware grootte.

figuur 1

figuur 2

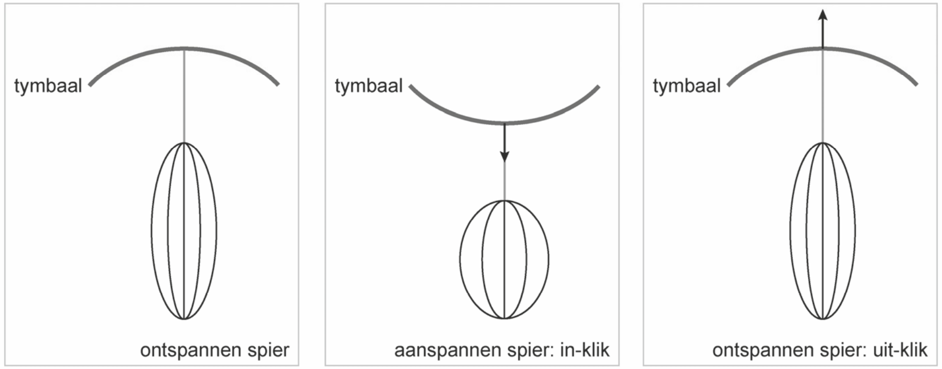


De mannetjes van deze insectensoort produceren een hard geluid om vrouwtjes te zoeken.

2p **26** Omcirkel in iedere zin op de uitwerkbijlage het goede antwoord.

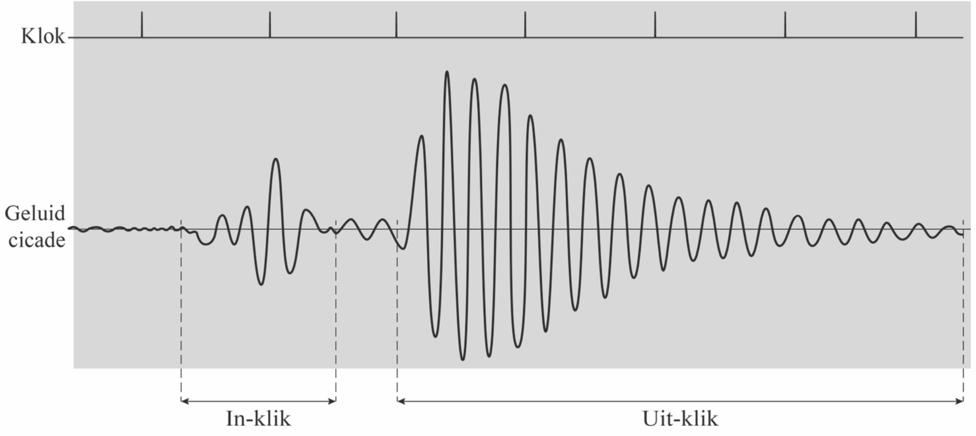
De mannetjes produceren het geluid door het afwisselend samentrekken en ontspannen van een spier, waardoor een zogenaamde tymbaal van vorm verandert.
Bij het aanspannen van de spier veroorzaakt die vormverandering van de tymbaal kortstondig een geluidspuls (de ‘in-klik’). Door de spier te ontspannen klapt de tymbaal weer terug en wordt opnieuw een korte geluidspuls gemaakt (de ‘uit-klik’). Zie figuur 3.

figuur 3



Van het geluid van een cicade is een oscillogram gemaakt. Zie figuur 4.

figuur 4



In figuur 4 is opeenvolgend het patroon van de geluidspuls van de in-klik en van de uit-klik te zien.

Het oscillogram is gemaakt met een meetapparaat dat voor de tijdsregistratie gebruikmaakt van een klok. De klok produceert om de 10 ms een piek. Die pieken zijn ook weergeven in figuur 4. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

3p **27** Bepaal de frequentie van het geluid van de uit-klik.

Het geluid wordt door de buikholte versterkt.

1p **28** Geef de naam van dit verschijnsel.

In figuur 4 is te zien dat de amplitude van de trilling van de uit-klik afneemt.

1p **29** Wat betekent dat voor het geluid dat bij die trilling hoort?

- **A** De toon wordt in de loop van de tijd luider.
- **B** De toon wordt in de loop van de tijd hoger.
- **C** De toon wordt in de loop van de tijd lager.
- **D** De toon wordt in de loop van de tijd zachter.

De mannetjescicaden maken dit geluid om vrouwtjes te vinden. Een vrouwtje reageert door geluid te maken met haar vleugels. In het bos kunnen bomen het geluid blokkeren als de golflengte van het geluid korter is dan de breedte van een boom. Bij een langere golflengte buigt het geluid om de boom heen en is het ook achter de boom te horen. De temperatuur in het bos is 30 °C.

3p **30** Bepaal de maximale frequentie van het geluid van het vrouwtje dat ook achter de boom uit figuur 1 te horen is. Schat daartoe eerst de dikte van die boom met behulp van figuur 1 en 2.

Uitwerkbijlage bij de vragen 6, 12, 17, 22, 24, 25, 26 en 27

6 Geef per stelling met een kruisje aan of deze waar of niet waar is.

Het heet worden van de elektroden wordt veroorzaakt door:	waar	niet waar
het hoge smeltpunt van het koper van de elektroden		
de elektrische weerstand van de koperen elektroden		
de grote kracht die de elektroden uitoefenen op de ijzeren platen		

12 Teken de stand van de manen op $t = 5{,}32$ d. Leg je antwoord uit met behulp van een berekening.

....

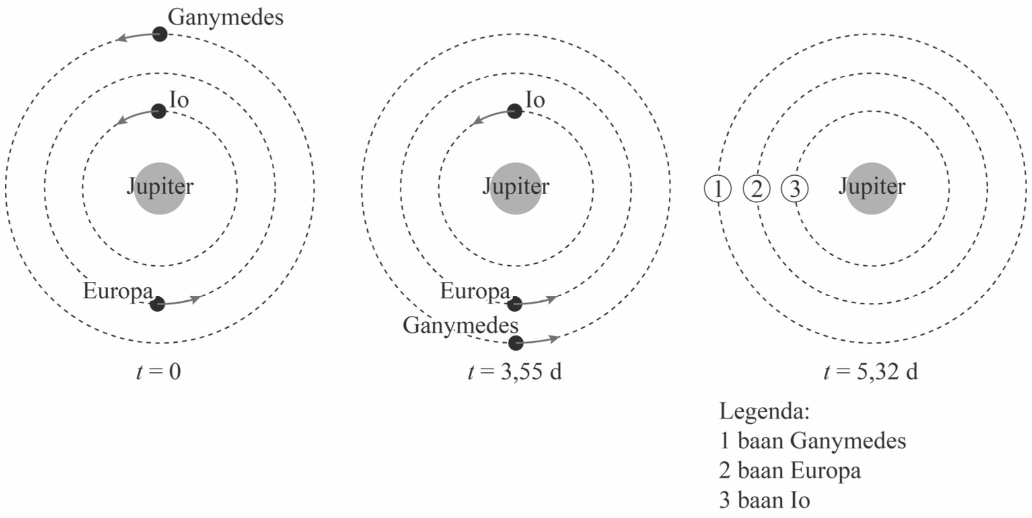
....

....

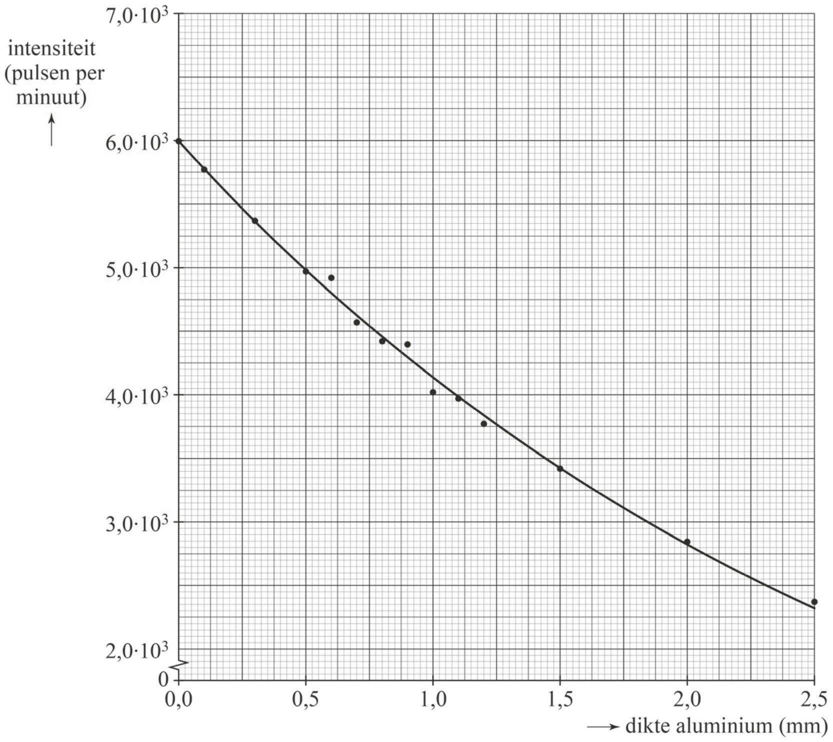
....

....

....



17



Bepaling: ....

....

....

....

....

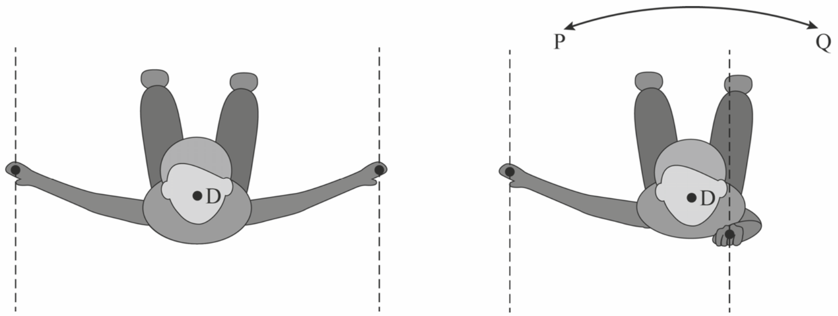
....

....

....

....

22 – Teken in beide figuren de luchtweerstandskrachten op de handen. Teken alle krachten in de juiste onderlinge verhouding.
– Teken in beide figuren de armen die horen bij deze krachten.



– Omcirkel in iedere zin het goede antwoord.

Doordat Aikins één hand naar zich toe buigt, wordt het moment van de

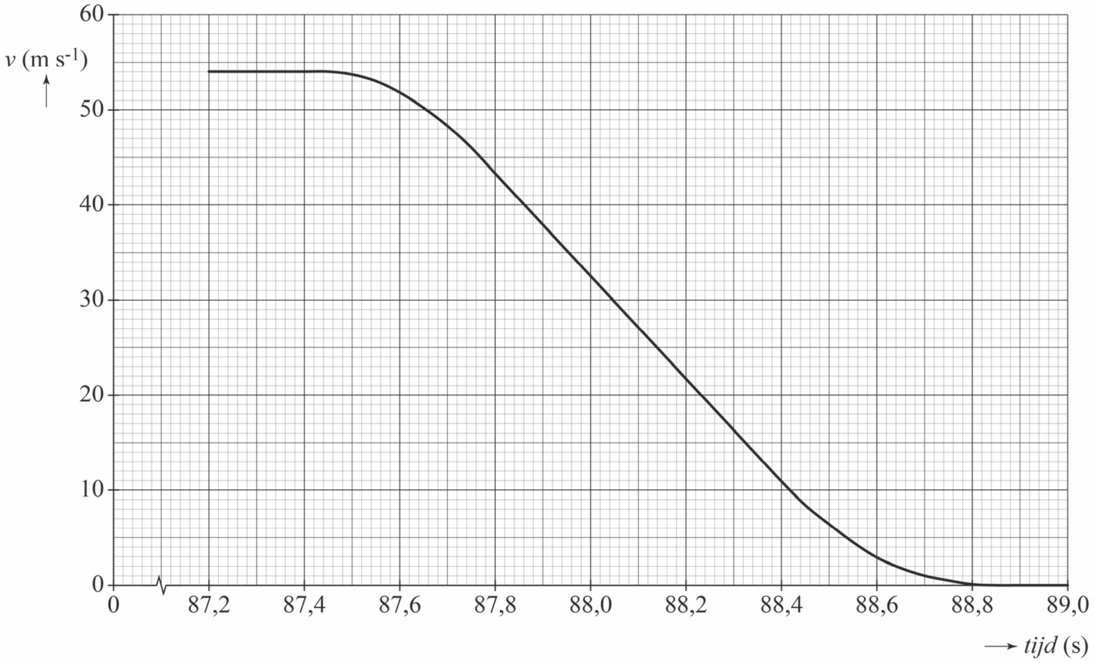
luchtweerstandskracht op die hand **groter** / **kleiner**.

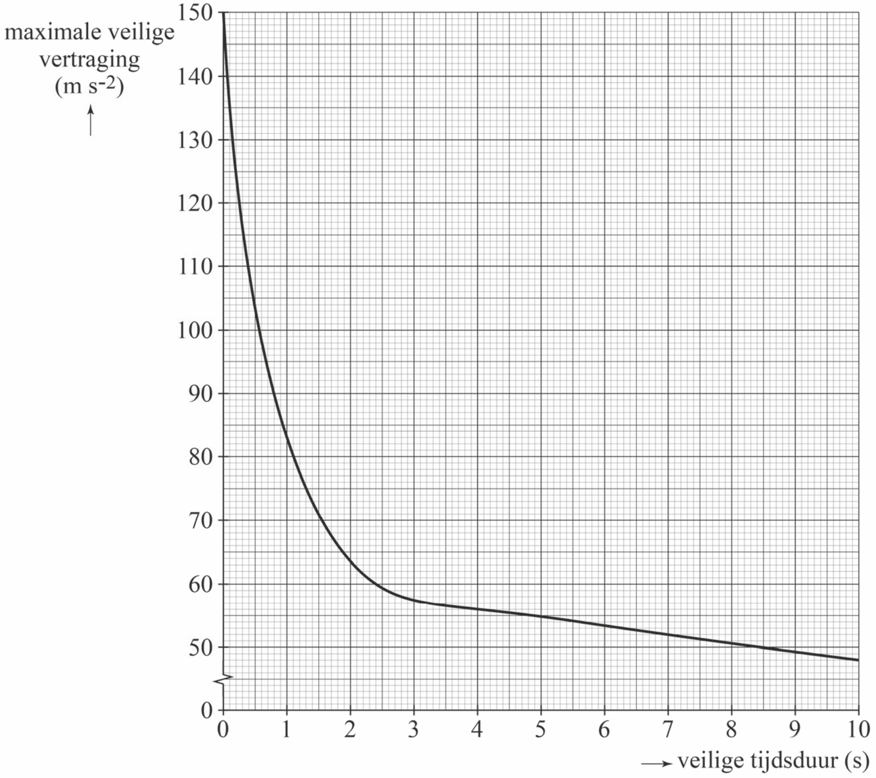
Aikins begint hierdoor te draaien in de richting van **P** / **Q**.

24 Omcirkel bij elke ontwerpoplossing het beste bijbehorende natuurkundige concept.

oplossing in ontwerp	natuurkundig concept
Het net is hoog opgehangen.	plastische vervorming / remafstand / treksterkte
Het net scheurt niet.	plastische vervorming / remafstand / treksterkte
Het net veert niet terug.	plastische vervorming / remafstand / treksterkte

25





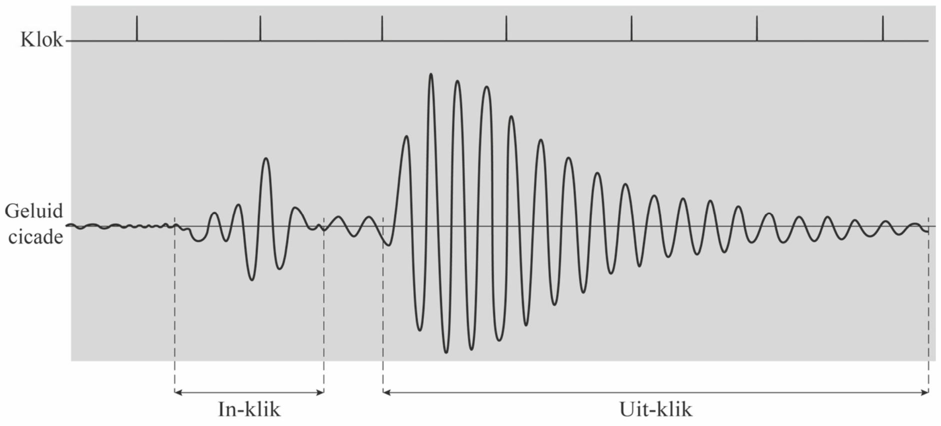
26 Omcirkel in iedere zin het goede antwoord.

Het geluid gaat van een cicade-mannetje naar een cicade-vrouwtje via

een **staande** / **lopende** golf in de lucht.

Deze golf is **transversaal** / **longitudinaal**.

27



Bijlagen

Cijferbepaling

2016-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	7,1
1	1,2	47	7,2
2	1,5	48	7,3
3	1,7	49	7,5
4	2,0	50	7,6
5	2,1	51	7,7
6	2,2	52	7,8
7	2,4	53	7,9
8	2,5	54	8,1
9	2,6	55	8,2
10	2,7	56	8,3
11	2,8	57	8,4
12	3,0	58	8,6
13	3,1	59	8,7
14	3,2	60	8,8
15	3,3	61	8,9
16	3,4	62	9,0
17	3,6	63	9,2
18	3,7	64	9,3
19	3,8	65	9,4
20	3,9	66	9,5
21	4,1	67	9,6
22	4,2	68	9,6
23	4,3	69	9,7
24	4,4	70	9,8
25	4,5	71	9,8
26	4,7	72	9,9
27	4,8	73	9,9
28	4,9	74	10,0
29	5,0		
30	5,1		
31	5,3		
32	5,4		
33	5,5		
34	5,6		
35	5,8		
36	5,9		
37	6,0		
38	6,1		
39	6,2		
40	6,4		
41	6,5		
42	6,6		
43	6,7		
44	6,9		
45	7,0		

2017-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,6
1	1,2	47	6,8
2	1,4	48	6,9
3	1,6	49	7,0
4	1,7	50	7,1
5	1,8	51	7,2
6	1,9	52	7,4
7	2,0	53	7,5
8	2,1	54	7,6
9	2,3	55	7,7
10	2,4	56	7,8
11	2,5	57	8,0
12	2,6	58	8,1
13	2,7	59	8,2
14	2,9	60	8,3
15	3,0	61	8,4
16	3,1	62	8,5
17	3,2	63	8,7
18	3,3	64	8,8
19	3,5	65	8,9
20	3,6	66	9,0
21	3,7	67	9,1
22	3,8	68	9,3
23	3,9	69	9,4
24	4,0	70	9,5
25	4,2	71	9,6
26	4,3	72	9,7
27	4,4	73	9,8
28	4,5	74	9,9
29	4,6	75	9,9
30	4,8	76	10,0
31	4,9		
32	5,0		
33	5,1		
34	5,2		
35	5,3		
36	5,5		
37	5,6		
38	5,7		
39	5,8		
40	5,9		
41	6,1		
42	6,2		
43	6,3		
44	6,4		
45	6,5		

2017-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,6
1	1,2	47	6,7
2	1,3	48	6,9
3	1,5	49	7,0
4	1,6	50	7,1
5	1,7	51	7,2
6	1,8	52	7,3
7	1,9	53	7,5
8	2,1	54	7,6
9	2,2	55	7,7
10	2,3	56	7,8
11	2,4	57	7,9
12	2,5	58	8,1
13	2,7	59	8,2
14	2,8	60	8,3
15	2,9	61	8,4
16	3,0	62	8,5
17	3,1	63	8,7
18	3,3	64	8,8
19	3,4	65	8,9
20	3,5	66	9,0
21	3,6	67	9,1
22	3,7	68	9,3
23	3,9	69	9,4
24	4,0	70	9,5
25	4,1	71	9,6
26	4,2	72	9,7
27	4,3	73	9,9
28	4,5	74	9,9
29	4,6	75	10,0
30	4,7		
31	4,8		
32	4,9		
33	5,1		
34	5,2		
35	5,3		
36	5,4		
37	5,5		
38	5,7		
39	5,8		
40	5,9		
41	6,0		
42	6,1		
43	6,3		
44	6,4		
45	6,5		

2018-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,3
1	1,1	47	6,4
2	1,1	48	6,5
3	1,2	49	6,7
4	1,2	50	6,8
5	1,3	51	6,9
6	1,4	52	7,0
7	1,6	53	7,1
8	1,7	54	7,3
9	1,8	55	7,4
10	1,9	56	7,5
11	2,0	57	7,6
12	2,2	58	7,8
13	2,3	59	7,9
14	2,4	60	8,0
15	2,5	61	8,1
16	2,6	62	8,2
17	2,8	63	8,4
18	2,9	64	8,5
19	3,0	65	8,6
20	3,1	66	8,7
21	3,3	67	8,8
22	3,4	68	9,0
23	3,5	69	9,1
24	3,6	70	9,2
25	3,7	71	9,3
26	3,9	72	9,5
27	4,0	73	9,8
28	4,1	74	10,0
29	4,2		
30	4,3		
31	4,5		
32	4,6		
33	4,7		
34	4,8		
35	5,0		
36	5,1		
37	5,2		
38	5,3		
39	5,4		
40	5,6		
41	5,7		
42	5,8		
43	5,9		
44	6,1		
45	6,2		

2018-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,3
1	1,1	47	6,4
2	1,1	48	6,5
3	1,2	49	6,7
4	1,2	50	6,8
5	1,3	51	6,9
6	1,4	52	7,0
7	1,6	53	7,1
8	1,7	54	7,3
9	1,8	55	7,4
10	1,9	56	7,5
11	2,0	57	7,6
12	2,2	58	7,8
13	2,3	59	7,9
14	2,4	60	8,0
15	2,5	61	8,1
16	2,6	62	8,2
17	2,8	63	8,4
18	2,9	64	8,5
19	3,0	65	8,6
20	3,1	66	8,7
21	3,3	67	8,8
22	3,4	68	9,0
23	3,5	69	9,1
24	3,6	70	9,2
25	3,7	71	9,3
26	3,9	72	9,5
27	4,0	73	9,8
28	4,1	74	10,0
29	4,2		
30	4,3		
31	4,5		
32	4,6		
33	4,7		
34	4,8		
35	5,0		
36	5,1		
37	5,2		
38	5,3		
39	5,4		
40	5,6		
41	5,7		
42	5,8		
43	5,9		
44	6,1		
45	6,2		

2019-I

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,6
1	1,2	47	6,7
2	1,5	48	6,8
3	1,6	49	7,0
4	1,8	50	7,1
5	1,9	51	7,2
6	2,0	52	7,3
7	2,1	53	7,4
8	2,2	54	7,5
9	2,3	55	7,6
10	2,5	56	7,8
11	2,6	57	7,9
12	2,7	58	8,0
13	2,8	59	8,1
14	2,9	60	8,2
15	3,0	61	8,3
16	3,1	62	8,5
17	3,3	63	8,6
18	3,4	64	8,7
19	3,5	65	8,8
20	3,6	66	8,9
21	3,7	67	9,0
22	3,8	68	9,1
23	4,0	69	9,3
24	4,1	70	9,4
25	4,2	71	9,5
26	4,3	72	9,6
27	4,4	73	9,7
28	4,5	74	9,8
29	4,6	75	9,8
30	4,8	76	9,9
31	4,9	77	9,9
32	5,0	78	10,0
33	5,1		
34	5,2		
35	5,3		
36	5,5		
37	5,6		
38	5,7		
39	5,8		
40	5,9		
41	6,0		
42	6,1		
43	6,3		
44	6,4		
45	6,5		

2019-II

punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	6,9
1	1,2	47	7,0
2	1,5	48	7,1
3	1,7	49	7,3
4	1,8	50	7,4
5	1,9	51	7,5
6	2,0	52	7,6
7	2,2	53	7,7
8	2,3	54	7,9
9	2,4	55	8,0
10	2,5	56	8,1
11	2,6	57	8,2
12	2,8	58	8,4
13	2,9	59	8,5
14	3,0	60	8,6
15	3,1	61	8,7
16	3,2	62	8,8
17	3,4	63	9,0
18	3,5	64	9,1
19	3,6	65	9,2
20	3,7	66	9,3
21	3,9	67	9,4
22	4,0	68	9,6
23	4,1	69	9,7
24	4,2	70	9,8
25	4,3	71	9,8
26	4,5	72	9,9
27	4,6	73	9,9
28	4,7	74	10,0
29	4,8		
30	4,9		
31	5,1		
32	5,2		
33	5,3		
34	5,4		
35	5,6		
36	5,7		
37	5,8		
38	5,9		
39	6,0		
40	6,2		
41	6,3		
42	6,4		
43	6,5		
44	6,7		
45	6,8		

Bedenk dat het toekennen van punten aan een antwoord enige deskundigheid vereist. De hier behaalde scores zijn dus vooral een indicatie van hoeveel je op dit moment weet over het vak.

©ThiemeMeulenhoff

©ThiemeMeulenhoff

Onderwerpregister

In het volgende schema wordt verwezen naar de nummers van vragen uit hoofdstukken en examens.

natuurkunde	deel 1	deel 2a		
		2016-II	**2017-I**	**2017-II**
A-Vaardigheden	hoofdstuk 1 1 - 7	1, 23	2, 12, 13, 21-22, 23, 25	12, 16, 18, 21, 26-28
B1-Informatie-overdracht	hoofdstuk 2 1 - 15	10-12	20-21	1-5
B2-Medische beeldvorming	hoofdstuk 3 1 - 23	16-18	7-11, 24	19-22
C1-Kracht en beweging	hoofdstuk 4 1 - 19	1-5, 8, 9, 13	13, 15-17	13, 15, 24, 26
C2-Energieomzettingen	hoofdstuk 5 1 - 16	6	14, 16	14, 17-18, 27
D1-Eigenschappen van stoffen en materialen	hoofdstuk 6 1 - 21	19-22, 27	1-2, 18-19, 21	6-8, 25, 28
E1-Zonnestelsel en heelal	hoofdstuk 7 1 - 16		26-28	23
G1-Gebruik van elektriciteit	hoofdstuk 8 1 - 18	7, 14, 15, 24-27	3-6	9-11

©ThiemeMeulenhoff

deel 2a (vervolg)			
2018-I	**2018-II**	**2019-I**	**2019-II**
4, 8	2, 12, 17, 25	8, 16, 27	11, 12, 18, 22
2, 4-7	23-27	18-20	21, 23
3, 18-23	18-22	21-24	1-6
1, 13-14, 16, 24-25, 27-28	5-6, 13	7-10	13, 14, 17, 18, 24, 27
17	7, 9, 16	2, 3, 11, 12	4, 15
8, 26	8	3, 14-17	8-12
15	11, 14-15, 17	13, 25-29	16, 25, 26
9-12	1, 3-4, 10	1, 3-6	5, 7, 8, 19, 20, 22

©ThiemeMeulenhoff

Aantekeningen

©ThiemeMeulenhoff

Aantekeningen

©ThiemeMeulenhoff

Aantekeningen

©ThiemeMeulenhoff

Aantekeningen

©ThiemeMeulenhoff

Colofon

Auteurs
R. Slooten
L. van Rooyen
M.H. Overbosch

Vormgeving binnenwerk
Maura van Wermeskerken, Apeldoorn

Opmaak
Crius Group, Hulshout

Redactie
Lineke Pijnappels, Tilburg

Auteur stappenplan
T.H.J. Heutmekers

Over ThiemeMeulenhoff
ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs. Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 49140 1
Eerste druk, tweede oplage, 2022

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2021

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO_2-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk.
Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

examenbundel 〉

havo **Nederlands**
havo **Engels**
havo **Duits**
havo **Frans**
havo **Economie**
havo **Bedrijfseconomie**
havo **Maatschappijwetenschappen**
havo **Geschiedenis**
havo **Aardrijkskunde**
havo **Wiskunde A**
havo **Wiskunde B**
havo **Scheikunde**
havo **Biologie**
havo **Natuurkunde**

samengevat }

havo **Economie**
havo **Bedrijfseconomie**
havo **Maatschappijwetenschappen**
havo **Geschiedenis**
havo **Aardrijkskunde**
havo **Wiskunde A**
havo **Wiskunde B**
havo **Scheikunde**
havo **Biologie**
havo **Natuurkunde**
havo/vwo **Nederlands 3F/4F**
havo/vwo **Rekenen 3F**

Tips, tricks en informatie die jou helpen bij het slagen voor je eindexamen vind je op examenbundel.nl! Nog meer kans op slagen? Volg ons ook op social media. #geenexamenstress

examenidioom + examenbundel + samengevat + zeker slagen! = #geenexamenstress

examenidioom

havo **Engels**
havo **Duits**
havo **Frans**

zeker slagen !

voor vmbo, havo én vwo

9 789006 491401